



ESPECTROGRAFÍA Y TIPOS DE ESTRELLAS

Estrellas
Taller número 3.1

NOTAS PARA EL PROFESOR

Objetivo: Clasificar las estrellas y entender su evolución mediante el diagrama HR. Clasificar y analizar las estrellas a partir de sus espectros.

Edad recomendada: de 12 a 18 años

Resumen de las actividades:

1. Construcción de un espectrógrafo
2. Explicación de la espectrografía y clasificación estelar. Experimentación mediante simulaciones dinámicas
3. Evolución estelar. Simulaciones y programación de un algoritmo

Propuesta gamificada:

En el marco del proyecto Escape Earth, el objetivo de la práctica es que los alumnos averigüen el tipo espectral de la estrella a partir de los datos de temperatura y luminosidad.

Requisitos:

- Concepto de átomo
- Conceptos de programación en lenguajes de programación por bloques o en su defecto, comprensión de algoritmos.

Temporización: 2h 40 minutos

Contenidos curriculares:

1. El sistema solar y la Tierra. Procesos de formación y evolución de los astros.
2. Descripción de la luz visible como ejemplo de onda electromagnética. Fenómenos e instrumentos relacionados.

Competencias científico-técnicas:

- ✓ Competencia 1:
Identificar y caracterizar los sistemas físicos y químicos desde la perspectiva de los modelos, para comunicar y predecir el comportamiento de los fenómenos naturales
- ✓ Competencia 6:
Reconocer y aplicar los procesos implicados en la elaboración y validación del



conocimiento científico

Metodología didáctica:

- trabajo en grupo,
- co-evaluación,
- uso de las tecnologías de la información y comunicación

Recursos:

- Ordenador del profesor con acceso a internet y proyector
- Ordenadores de los alumnos con acceso a internet.

Lecturas recomendadas:

Para alumnos:

- The Periodic Table Song <https://www.youtube.com/watch?v=VgVQKcCfwnU>
- <https://starinabox.lco.global/#>
- Las estrellas de neutrones
https://www.youtube.com/watch?v=-aB6_63eOSI&feature=youtu.be
- <http://henrietta.iaa.es/annie-jump-cannon>
- <http://henrietta.iaa.es/vida-de-una-estrella>
- <https://www.elperiodico.com/es/opinion/20190315/mujeres-de-la-tabla-periodica-articulo-opinion-adela-munoz-paez-7356951>
- https://www.abc.es/ciencia/abci-agujero-negro-directo-maxima-expectacion-primera-foto-agujero-negro-201904101247_directo.html

Para profesores:

- Cómo hacer un espectrógrafo
<https://diy.org/skills/astronomer/challenges/229/make-a-spectroscope>
- https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_795620&feature=iv&src_vid=zFPnOUSdMdc&v=uG4xe9cNpP0
- https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Hertzprung-Russell
- https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler
- https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/tabla-periodica-cumple-150-anos_13721

➤ **Datos de entrada para la propuesta gamificada:** Tipo espectral de la estrella.

- **Datos de salida para la propuesta gamificada:** Espectro de la estrella del exoplaneta y temperatura.
- **Insignia:** Radio de la estrella o profundidad de tránsito.



RADIO DE LA ESTRELLA



PROFUNDIDAD DE TRÁNSITO

TALLER

INTRODUCCIÓN:

Tiempo: 40 minutos.

Contenido: Construcción de un espectrógrafo

Material necesario (El video de la construcción se puede encontrar [aquí](#)):

- CD o DVD
- caja de zapatos
- Cartón interior de papel de WC
- Cuter
- Cinta adhesiva
- Transportador
- Papel de aluminio
- 2 hojas de afeitador
- Pintura negra para pintar el interior de la caja (opcional)



1. Se agujerea el extremo de la caja, de manera que el cartón quepa tal y como se ve en la imagen...



2. ... y quede orientado a 60°.

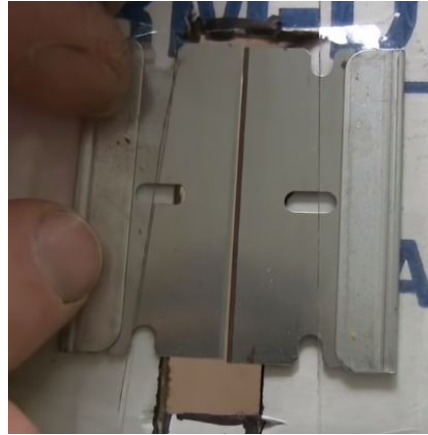
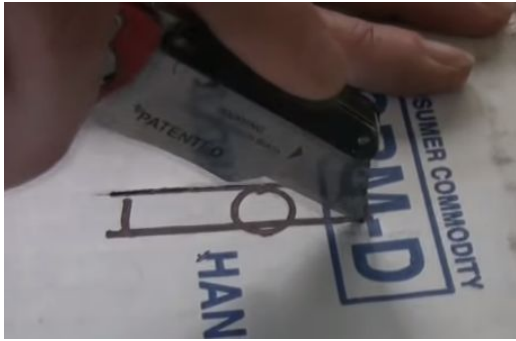


3. Se fija con cinta adhesiva y se bloquea la luz con papel de aluminio.



4. A un lado de la caja se corta una ranura de 1 x 5 cm.

5. Se enganchan las 2 hojas de afeitador una muy cerca de la otra

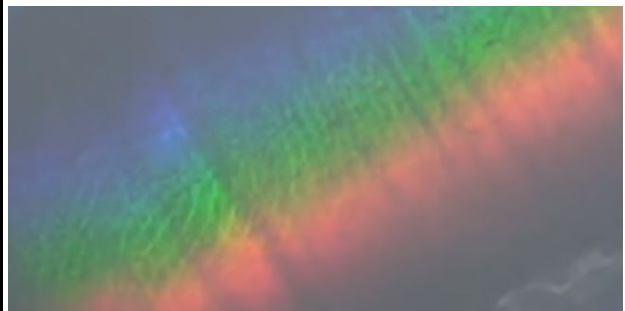


Si la luz está borrosa, significa que en el punto 5 hemos colocado las hojas de afeitar demasiado lejos una de la otra. Por el contrario, si no hay casi luz, querrá decir que están demasiado cerca.

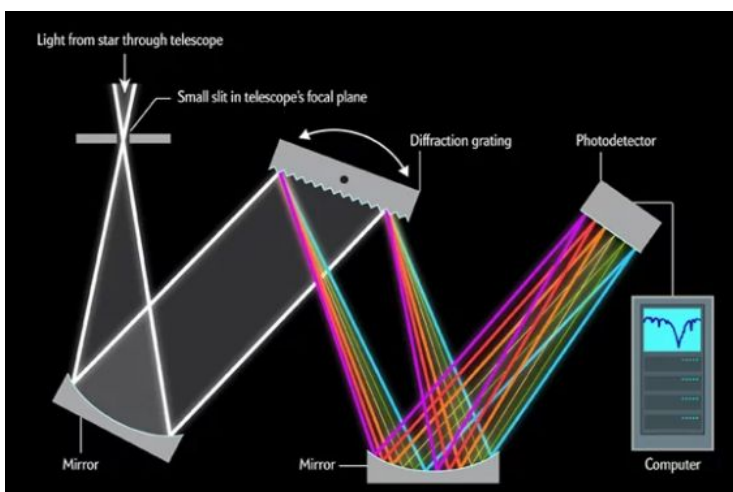
Se coloca el CD en el interior de la caja, en la pared opuesta donde están las hojas de afeitar



Se forra la caja con papel de aluminio y se ilumina la caja a través de las hojas de afeitar. Deberíamos ver el arco iris:



Este es el mismo principio que se usa en astronomía para determinar la composición de las estrellas y planetas.



Un **espectrómetro o espectrógrafo** es el instrumento que registra la intensidad de energía en función de la longitud de onda y nos da el espectro. El espectrógrafo se basa en el principio de la difracción de la luz. El espectro se obtiene dispersando las distintas ondas de longitud de la luz, como lo hace un prisma. La luz pasa por una rendija, y luego por una rejilla difractora (lámina de cristal con miles de finas líneas grabadas) para terminar en el detector.

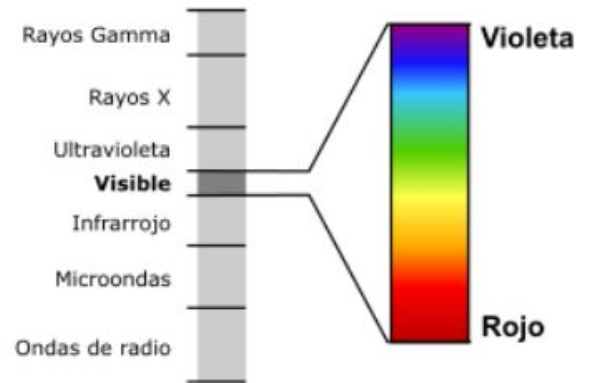
DESARROLLO

Tiempo: 90 minutos.

Contenido: Espectroscopía, clasificación espectral de las estrellas, coordenadas.

El ojo humano es capaz de ver sólo una franja de todo el espectro electromagnético de la luz. A esta franja se la llama luz visible.

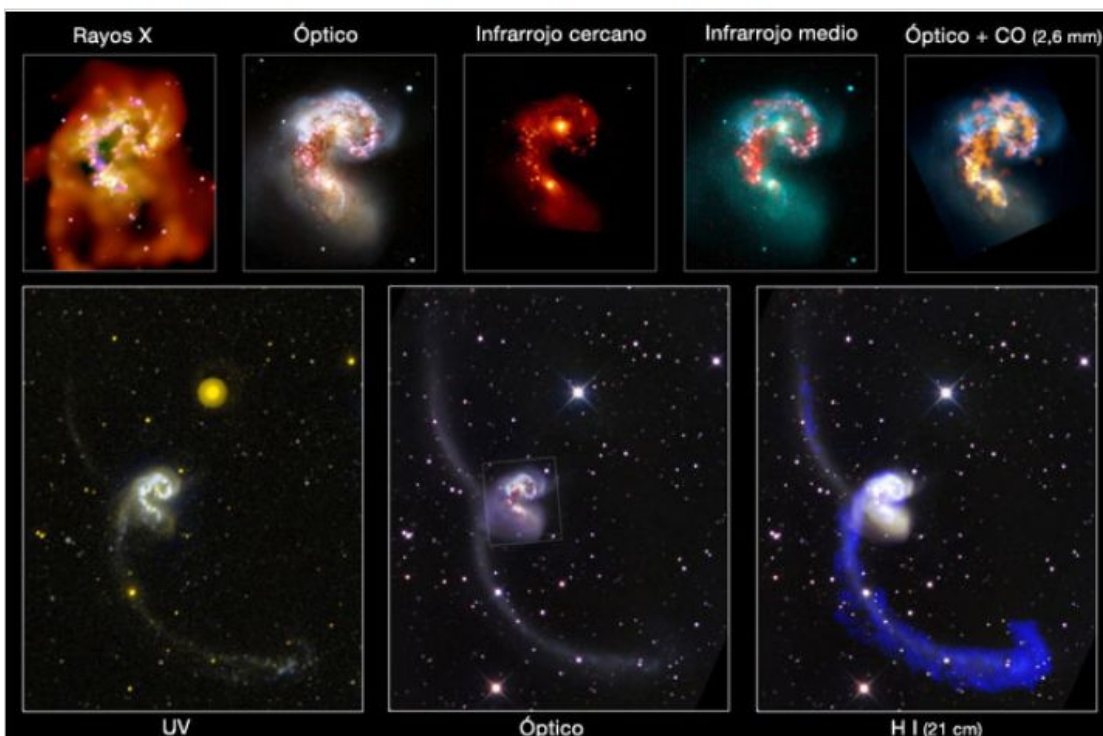
Sin embargo, los humanos somos capaces de usar otros rangos, como por ejemplo el de las ondas de radio, para comunicarnos entre nosotros y observar las estrellas.




Espectro electromagnético
y rango de luz visible

La **espectroscopía** es fundamental para entender el Universo. Gracias a ella, por ejemplo, se ha podido deducir la existencia de la materia oscura o la expansión del universo porque, no sólo nos permite estudiar objetos astrofísicos en el rango visible, sino también en infrarrojo, UV y rayos X. Por ejemplo, en la imagen de las galaxias de las antenas, se puede comprobar cómo cambia la información que nos llega si “miramos” con unas longitudes de onda u otras.

LAS GALAXIAS DE LAS ANTENAS EN DIVERSAS LONGITUDES DE ONDA

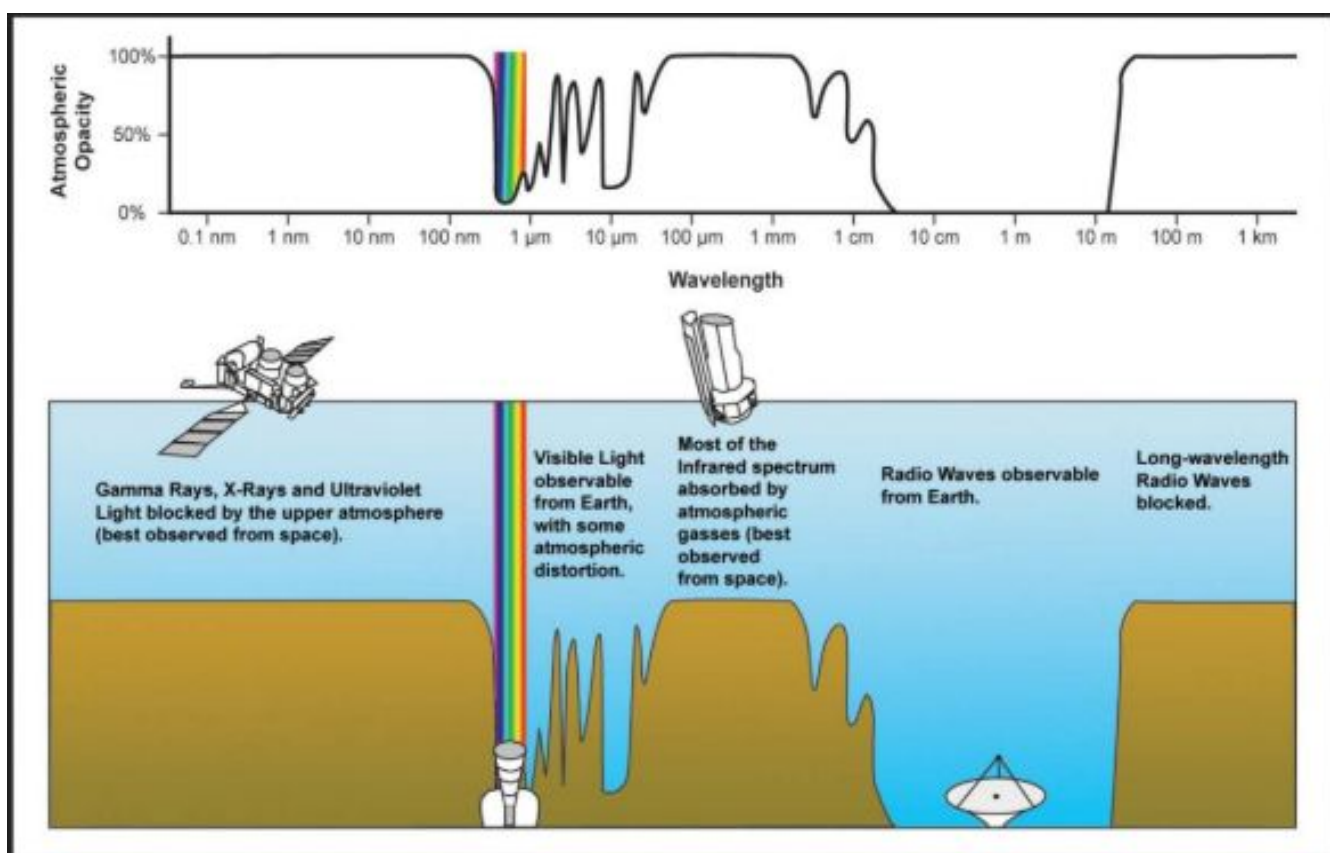


La espectroscopía nos da información acerca de las propiedades físicas de no sólo las estrellas sino de muchos objetos celestes, tales como planetas, asteroides, cometas, nebulosas, galaxias... Gracias a la espectroscopía se pueden determinar las siguientes características:

- composición química, densidad, temperatura, presión, masa, luminosidad de las estrellas
- rotación y movimiento relativo (por el desplazamiento al rojo debido al efecto **Doppler**) 
- niveles de excitación y grado de ionización de sus átomos
- distancia
- tipos espectrales de las estrellas
- tipo de actividad de una estrella por la presencia de elementos químicos y calcular su edad
- contenido estelar de una galaxia
- tipo de actividad de una galaxia: formación estelar, edad
- condiciones del medio interestelar

Todos estos datos nos pueden ayudar a deducir otras características, como el entorno y la historia del objeto en estudio.

Algunos rangos de luz son bloqueados por la atmósfera y no es sino con satélites que somos capaces de detectar otros espectros, como el infrarrojo y el ultravioleta.



Observando la escala de la imagen anterior y, sabiendo que 1 amstrong = 10^{-10} metros, un espectro se divide en la siguientes regiones:

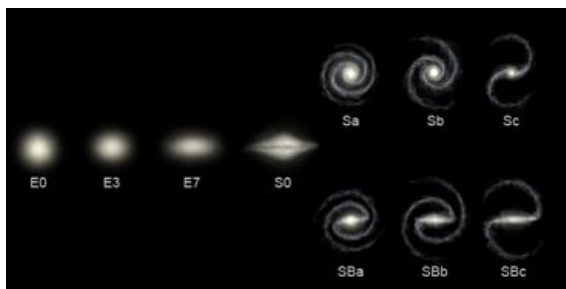
- **visible:** 3.500 a 7.500 amstrongs. Cuando miramos una estrella en esta longitud de onda, vemos la zona de la **fotosfera**, la capa más externa. Nos da información sobre la temperatura efectiva, el radio y la gravedad superficial y se identifica masa y edad.
 - **Azul:** 3.500-5.000 armstrong: denota población de estrellas jóvenes formación estelar, gas, polvo interestelar, nebulosas (galaxias espirales como M51) ?
 - **Rojo:** 5.000-7.000 armstrong: estrellas viejas de varios millones de años, con alto grado de metalicidad (galaxias elípticas, como M87)

- **Ultravioleta:** (1.000 - 3.000 Å):estrellas masivas (10 masas solares), calientes y jóvenes.
 - UV **cercano.** aprox 3.000- 3.500 amstrongs: aporta poca información. Cerca de 3.500 amstrongs, podemos saber si la estrella tiene metales y He.
 - UV **espacial:** 1.000-3.000 amstrongs: refleja grandes movimientos -> vientos estelares, flujos de masas emergentes. Aporta información también acerca de la velocidad de la fuente relativa al observador.
 - UV **lejano:** ... - 1.000 lejano no muy estudiada y menos conocido. Estudia las condiciones físicas más externas de la atmósfera estelar, donde las temperaturas son más bajas, zonas menos energética.

- **Infrarrojo:**7500- 300 micrones.
 - **cercano** 7500 - 2 micrones: envolturas extensas en torno a las estrellas pero de las partes más alejadas.
 - **intermedio:** 2 - 25 micrones: información sobre el polvo circunestelar, en estrellas frías como el Sol.
 - **lejano** 25 - 300 micrones: aporta información sobre las moléculas de las nubes interestelares, que son importantes para el estudio de la formación estelar y nubes moleculares.

? Las galaxias se presentan principalmente en 3 formas:

- galaxias espirales: discos rotantes con brazos en forma de espiral
- galaxias elípticas: son más viejas y grandes que las espirales y con poca tasa de formación
- galaxias irregulares: con forma que no encaja en ninguna de las dos anteriores



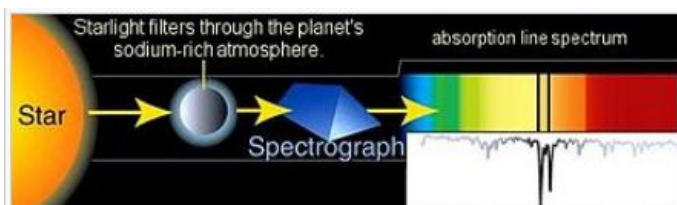
La siguiente actividad de investigación colaborativa permite profundizar en los tipos de galaxias:

<https://www.zooniverse.org/projects/zookeeper/galaxy-zoo/classify>

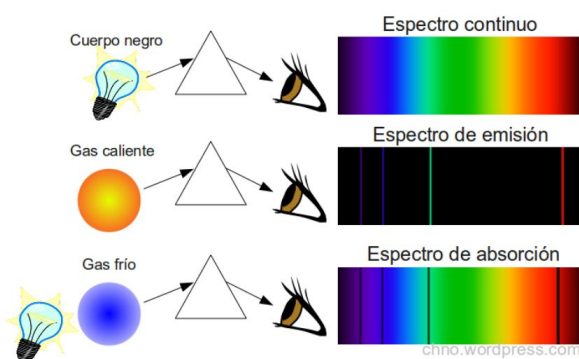
Se observan 3 tipos de espectros:

- El **espectro continuo** se forma cuando la fuente luminosa emite en todas las longitudes de onda sin interrupción como consecuencia de estar a altas temperaturas y presiones. En este caso, el espectro no nos revela la composición de la fuente.
- El **espectro de emisión** se forma cuando un gas a baja presión y alta temperatura emite radiaciones de manera que en el espectro se observan líneas brillantes características de los átomos del gas que lo componen. Por lo tanto, se observan sólo las longitudes de onda de los elementos que componen

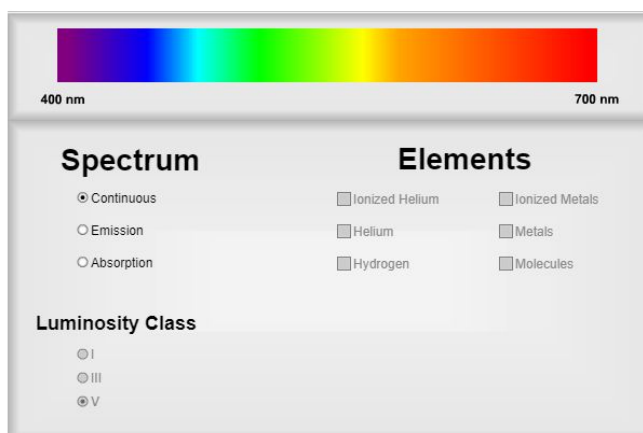
- El **espectro de absorción** se produce cuando entre la fuente de luz y el observador se interpone un gas frío que absorbe la energía, generando líneas negras en el espectro. Las estrellas producen espectros de absorción porque



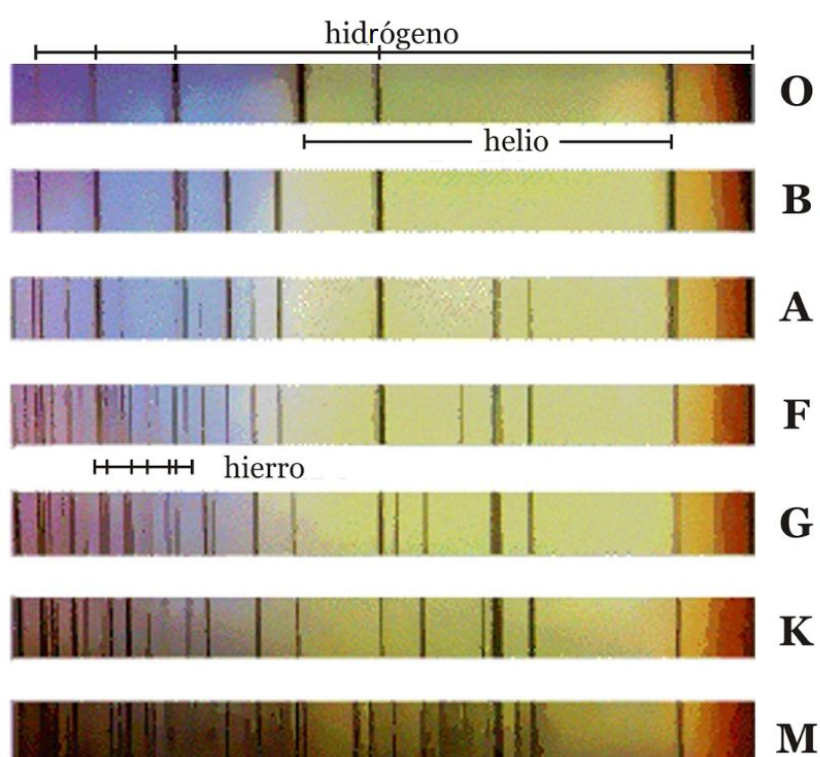
sus superficies son más frías que el gas interior, más denso y más caliente y que es el que genera el espectro continuo. Gracias a estas líneas podemos llegar a conocer el material del que está hecho la estrella, así como también de su cantidad.



En el apartado de Fichas didácticas -> Estrellas- > Espectrografía de la [página web](#), se puede encontrar una simulación interactiva para entender la diferencia entre los 3 diferentes espectros.



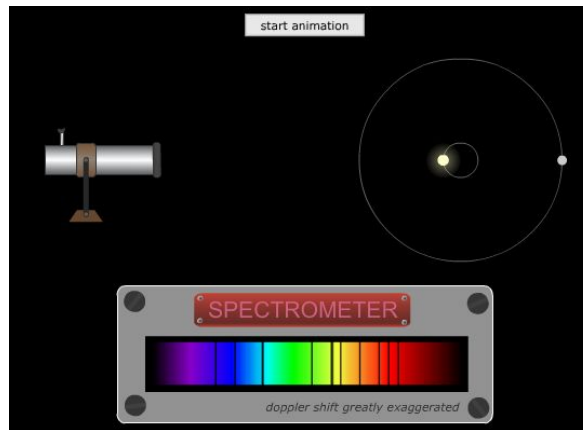
Se propone como ejercicio, emular los diferentes espectros de absorción que se obtienen de la observación de la luz de las estrellas con la siguiente imagen:



Efecto Doppler

La traslación de las líneas espectrales conocidas en un espectro también nos indica el llamado desplazamiento al rojo (red-shift) y, por lo tanto, la distancia a la fuente luminosa y en consecuencia su edad (por la expansión del Universo). Este fenómeno se llama **efecto Doppler** y la simulación, que se encuentra en la misma página que la anterior, indica cómo los astrónomos

pueden saber si una estrella o planeta se acerca o aleja de nosotros, dependiendo de la traslación de sus líneas espectrales. (Nota: El efecto Doppler también se trabaja en el taller 4.1 Exoplanetas. Métodos de detección).



La presencia de ciertas líneas en el espectro nos lleva a la clasificación de estrellas por temperaturas. Las estrellas se clasifican por medio del **sistema de Morgan-Keenan (MK)** que sigue la secuencia de letras O, B, A, F, G, K, y M, que abarca desde las más calientes (tipo O) a las más frías (tipo M). Cada clase se subdivide usando un dígito numérico, con 0 para las estrellas más calientes y 9 para las más frías. Posteriormente, la clasificación fue ampliada con nuevos tipos, resultando una nueva secuencia WO BAFGK MLT y RNC S, donde W son estrellas de Wolf-Rayet, y T representan estrellas extremadamente frías y de poca masa del tipo de las enanas marrones y R, N, C y S que son utilizados para clasificar estrellas ricas en carbono. En el sistema MK, se añaden unas clases de luminosidad a la clase espectral usando números romanos. Esto se basa en el ancho de ciertas líneas de absorción en el espectro de la estrella, que tiene la densidad de la atmósfera y distinguen las gigantes rojas de las enanas

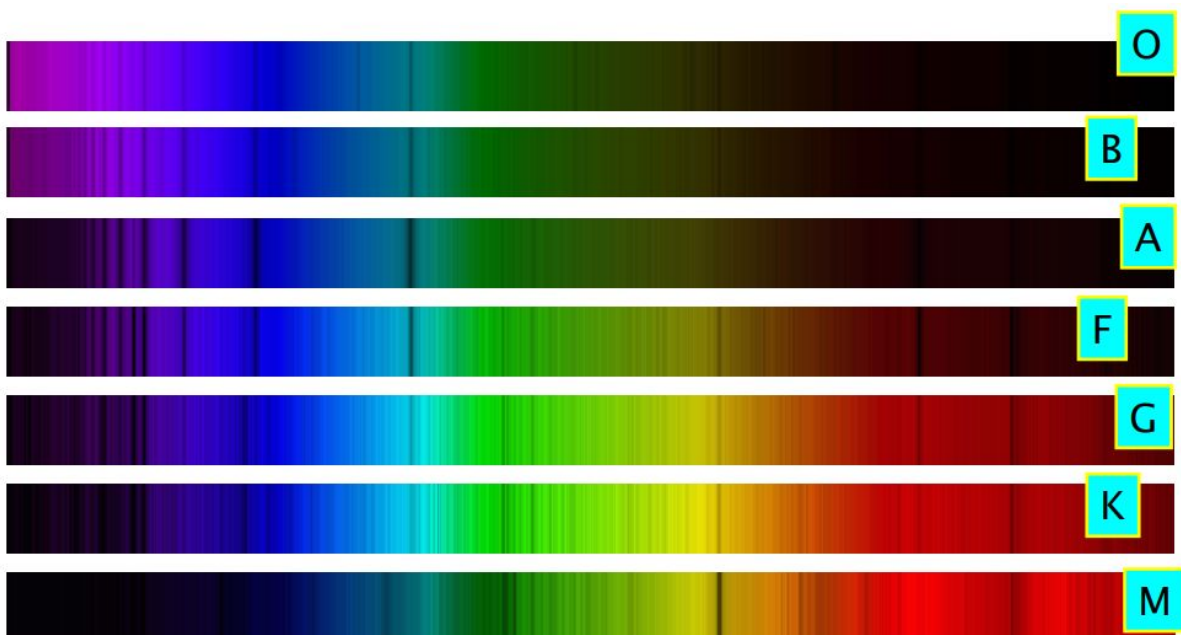
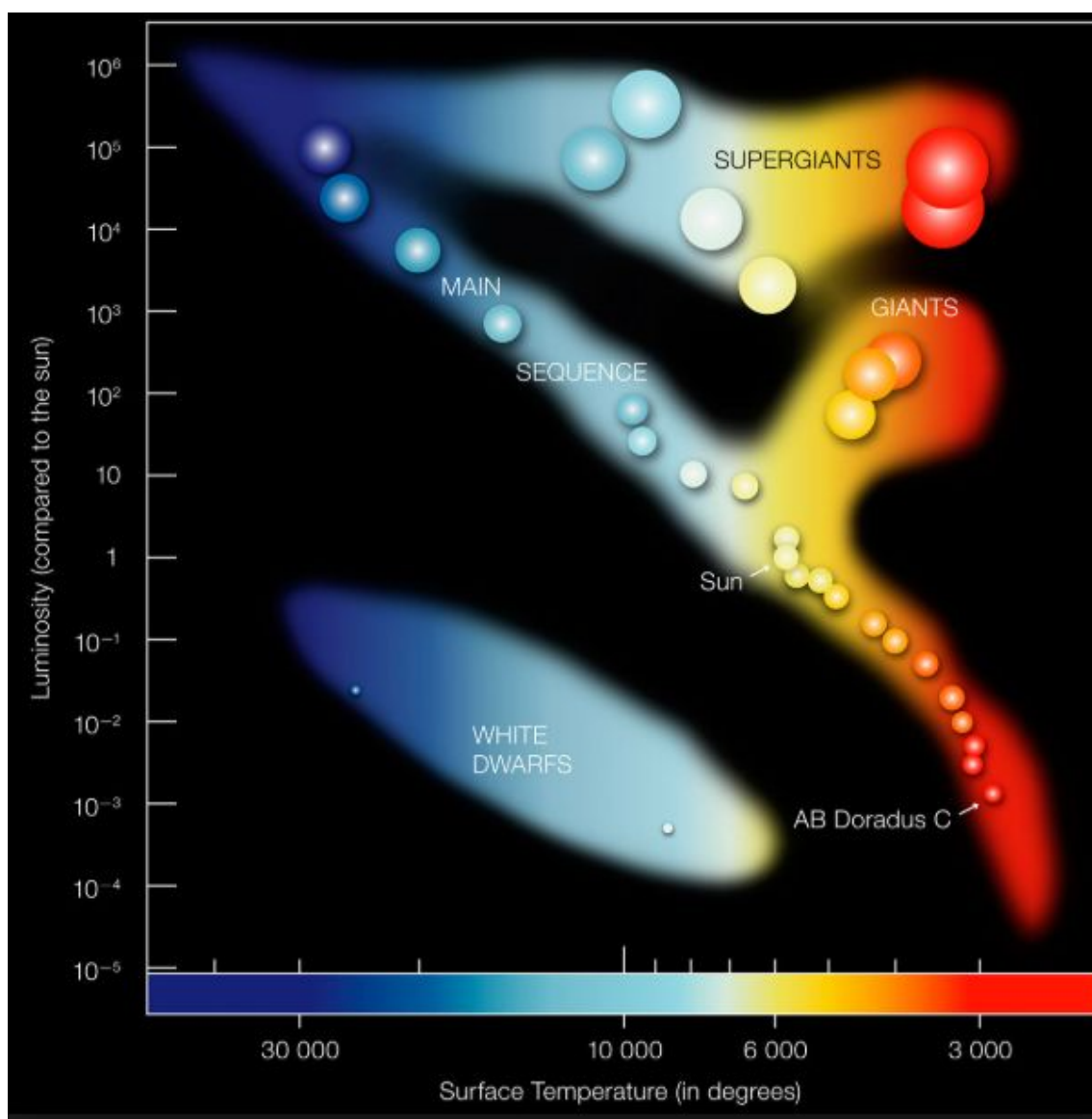


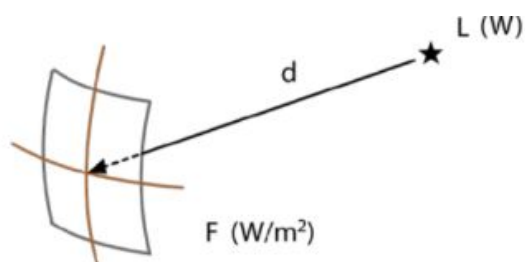
diagrama Hertzsprung-Russell relaciona la magnitud absoluta de las estrellas con su temperatura. En él, las estrellas se distribuyen en función de la temperatura y también de su estado evolutivo. Como por motivos históricos, se usan las letras WOBANGKM para ordenar las estrellas de mayor a menor temperatura, una regla mnemónica que puede ser útil para recordar el orden es: *“Oh, be a nice girl/guy, kiss me right now”* (Oh, sé un/a buena/a chico/a y bésame ahora mismo).

En el eje de abscisas están las temperaturas en Kelvins de mayor a menor. El color azul denota mayor temperatura que el rojo. En el eje de ordenadas se marcan las **luminosidades** con respecto al Sol.

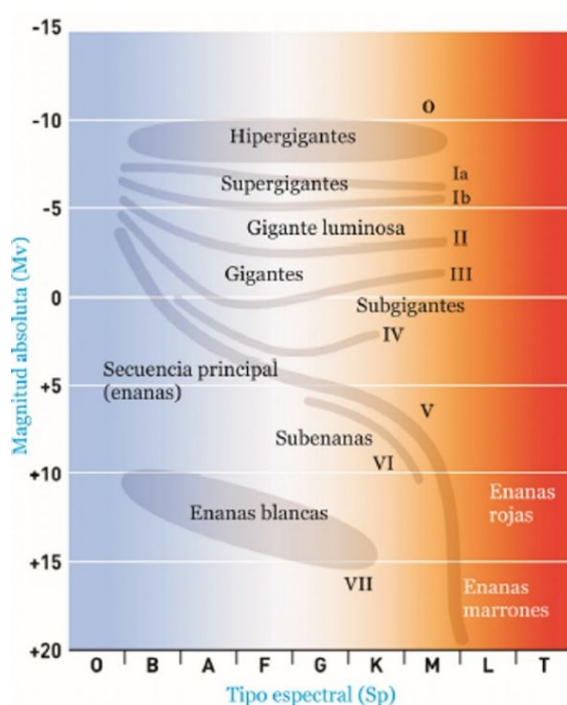


? Luminosidad

La energía, o potencia, que emite un cuerpo por unidad de tiempo recibe el nombre de luminosidad, L . Como el flujo energético disminuye con el cuadrado de la distancia recorrida, la intensidad percibida desde la Tierra, llamada brillo, es mucho menor.



Los brillos aparentes se miden en **magnitudes aparentes** en una escala inversa, de manera que cuanto menos brilla una estrella, mayor es la magnitud. Es decir, una estrella de magnitud 2 brilla más que una de magnitud 10. Y una de magnitud -4 brilla más que una de 2.



El diagrama Hertzsprung-Russell (HR) también se puede representar con los tipos espectrales en el eje de abscisas y la magnitud en el eje de ordenadas.

Los astrónomos usan el diagrama HR para entender la evolución de las estrellas y para investigar las propiedades de los cúmulos globulares y/o abiertos para estimar su edad.

La característica más destacada del diagrama es la secuencia principal, que se ve como la línea que cruza el diagrama desde la esquina superior izquierda (estrellas calientes y luminosas) hasta la esquina inferior derecha (estrellas frías y débiles). A parte, se observan la rama de gigantes, supergigantes y enanas blancas.

Hay 3 regiones principales (o etapas evolutivas) del diagrama:

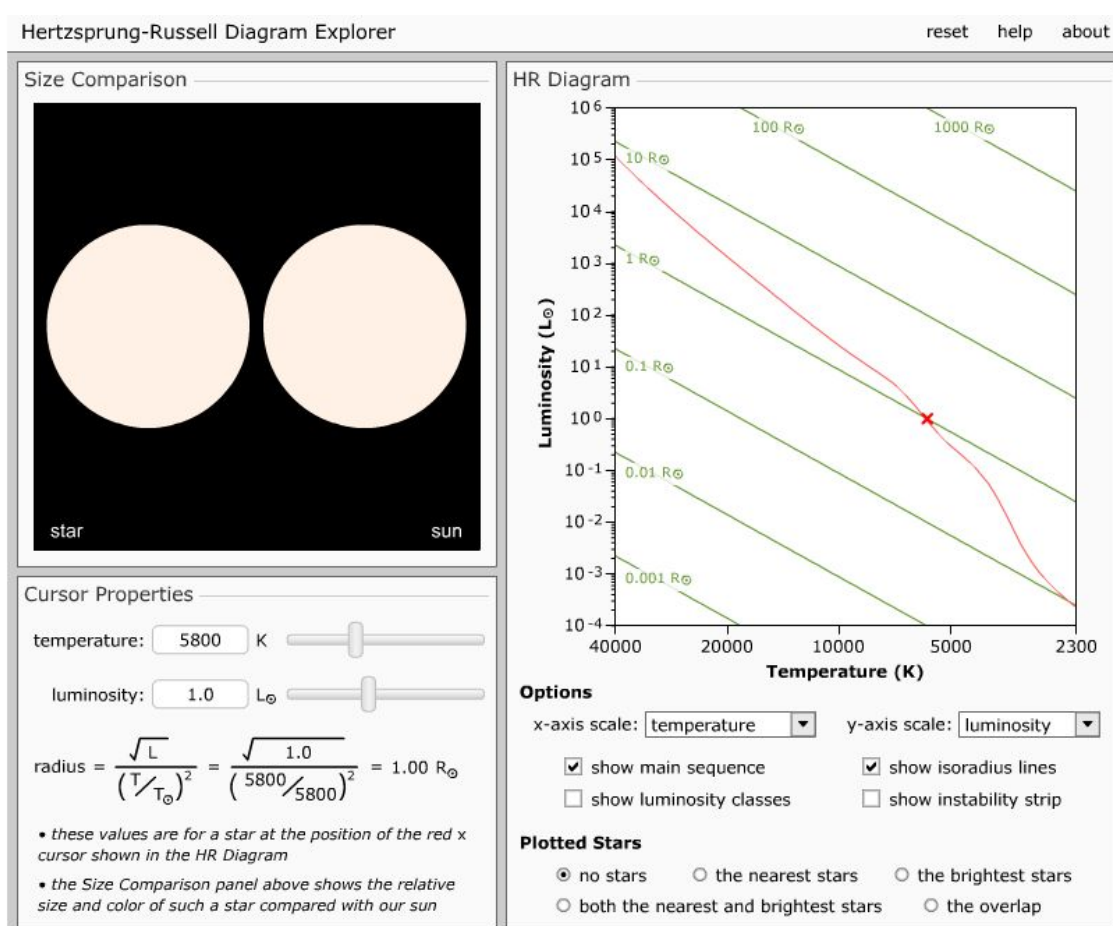
La **secuencia principal**, que se extiende desde la parte superior izquierda (estrellas calientes y luminosas) hasta la parte inferior derecha (estrellas frías y débiles). Las estrellas pasan el 90% de sus vidas quemando hidrógeno en sus núcleos y convirtiéndolo en helio. En la escala de luminosidad Morgan-Keenan, las estrellas de la secuencia principal están etiquetadas como V. Nuestro **Sol** se encuentra en la secuencia principal con una temperatura aproximada de 5.400 Kelvin y una luminosidad de 1 .

Una vez las estrellas de la secuencia principal han agotado el hidrógeno de sus núcleos, empiezan

a quemar helio y otros elementos más pesados. Son las estrellas **gigantes rojas y supergigantes**. Sus radios son grandes, sus temperaturas superficiales bajas y sus luminosidades altas. Dependiendo de su masa inicial, su destino final puede ser una enana blanca, una estrella de neutrones, o un agujero negro. En el diagrama, se sitúan por encima de la secuencia principal y son de luminosidad I a III.

Cuando las estrellas son de masa baja a intermedia, su etapa evolutiva final es muy caliente pero con poca luminosidad y poco tamaño. Son las **enanas blancas** (clase de luminosidad D) y se encuentran en la parte inferior izquierda del diagrama HR.

En la animación interactiva de la [página web](#) del apartado Estrellas -> Tipos de estrellas, se puede comprobar con el diagrama de Hertzsprung-Russell, la relación entre la luminosidad y la temperatura de las estrellas.



Instrucciones

La **x roja** del panel superior derecho representa una estrella con las propiedades de temperatura y la luminosidad indicadas en el panel inferior izquierdo llamado *Cursor Properties* (Propiedades del cursor).

La estrella (x roja) se puede cambiar de ubicación, ya sea arrastrándola o ajustando los controles deslizantes del *Cursor Properties*.

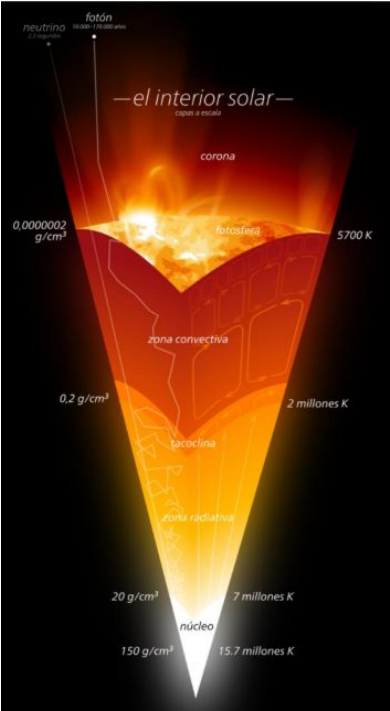
Opcionalmente, se puede seleccionar mostrar características como la secuencia principal, las líneas de isoradius (líneas a lo largo de las cuales todas las estrellas tienen el mismo radio), clases de luminosidad y la franja de inestabilidad (donde se encuentran las estrellas pulsantes).

En el panel superior izquierdo se puede ver la comparación de tamaño entre nuestro Sol y la estrella.

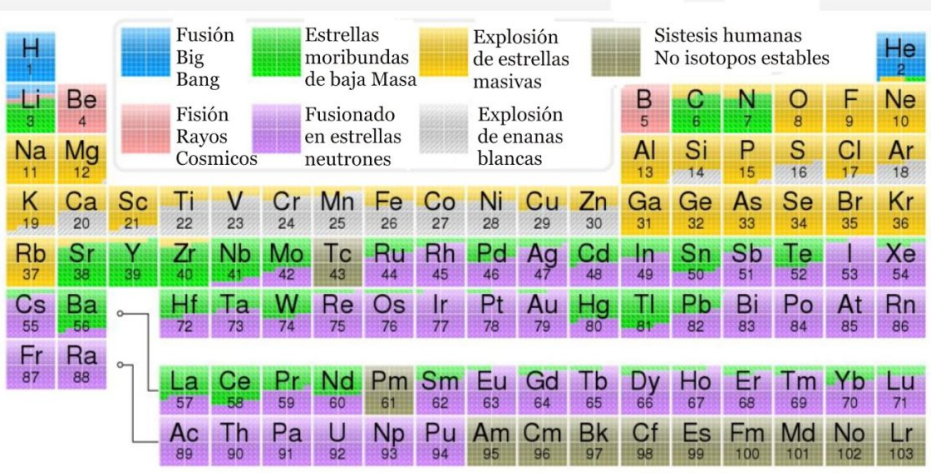
Las escalas x e y también se pueden cambiar. Esto es posible porque la temperatura y la luminosidad se pueden correlacionar con magnitudes absolutas o índices de color.

Mediante la sección *Plotted Stars* (estrellas medidas), también se pueden dibujar en el diagrama las estrellas más cercanas y/o más brillantes.

Como complemento de la unidad didáctica, se puede profundizar en la estructura interna de una estrella y en las reacciones nucleares de los elementos químicos que la componen.



Reacciones Nucleares



Las estrellas de menos de la mitad de la masa del Sol comienzan como estrellas de la secuencia Principal de masa baja. Aquí, permanecen durante millones de años en estados muy estables fusionando átomos de hidrógeno en helio como combustible y fuente de energía. Cuando el núcleo de la estrella se queda sin hidrógeno para fundirse en helio, las capas externas de la estrella comienzan a hincharse y la temperatura de la superficie de la estrella se enfría y toda ella también cambia de aspecto para volverse más roja, es la fase de **gigante roja**. Dado que las


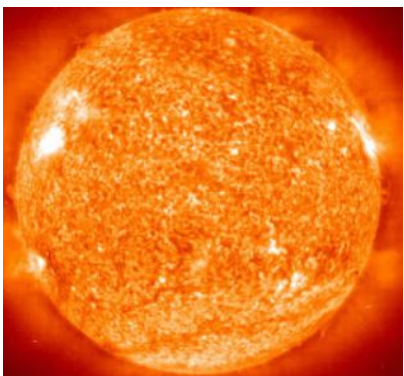

estrellas de esta masa son demasiado pequeñas para iniciar la fusión de helio en el núcleo, la estrella quema todo su suministro de hidrógeno, dejando atrás el núcleo de helio, quedando como una "**enana blanca de helio**".

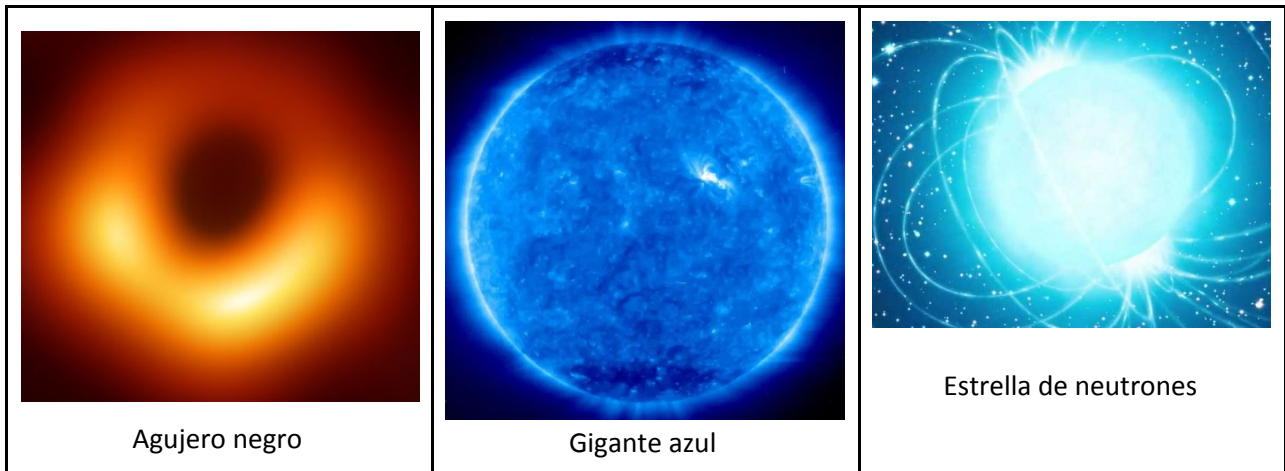
Las estrellas de masa similar a la del Sol y hasta 8 veces su masa, sí son capaces de fusionar el helio en carbono y oxígeno y finalmente, después de pasar por una fase de gigante roja, las capas de hidrógeno y helio de la estrella se desvanecen dejando una "**Enana Blanca de Carbono / Oxígeno**" similar a las estrellas de baja masa.

Las estrellas de 10 a 20 veces la masa del Sol podrán iniciar la fusión de átomos como el oxígeno y el carbono en el núcleo cuando acaban con el hidrógeno y el helio. La estrella gigante roja tendrá una estructura similar a la cebolla, con diferentes elementos en diferentes capas, como hidrógeno, helio, carbono, oxígeno y neón, pero se detendrá en el hierro. Una vez que la fusión se detiene en el Hierro, ya no hay más reacciones nucleares para detener el colapso del núcleo, al hacerlo se produce una **supernova**, y todo lo que queda es una **estrella de neutrones**.

Las estrellas de 30 veces el Sol, e incluso más pesadas, podrán iniciar la fusión de elementos mucho más pesados en el núcleo, como el helio, el carbono, el oxígeno y el neón. Después de pasar por la fase de gigante roja, se convertirán en **gigantes azules**, con vientos estelares muy fuertes, que eliminarán las capas externas de la estrella y dejarán el interior más caliente en exhibición. Finalmente, el núcleo se colapsará, con una gran supernova; sin embargo, quedará un **agujero negro**, un objeto con un campo gravitatorio tan fuerte, que ni siquiera la luz puede escapar.

Como ejercicio, se propone ordenar las siguientes imágenes según los caminos que se han descrito:

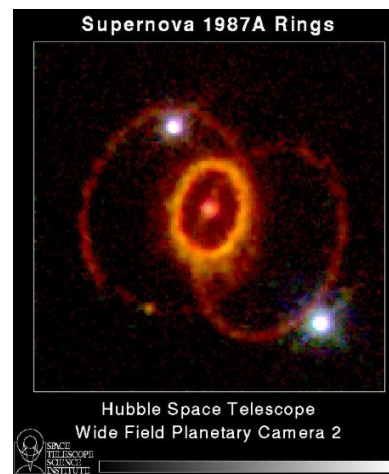
		
Supernova	Gigante roja	Enana blanca



Para entender los lapsos de tiempo, un ejemplo puede ser útil. Una estrella de 20 masas solares tarda:

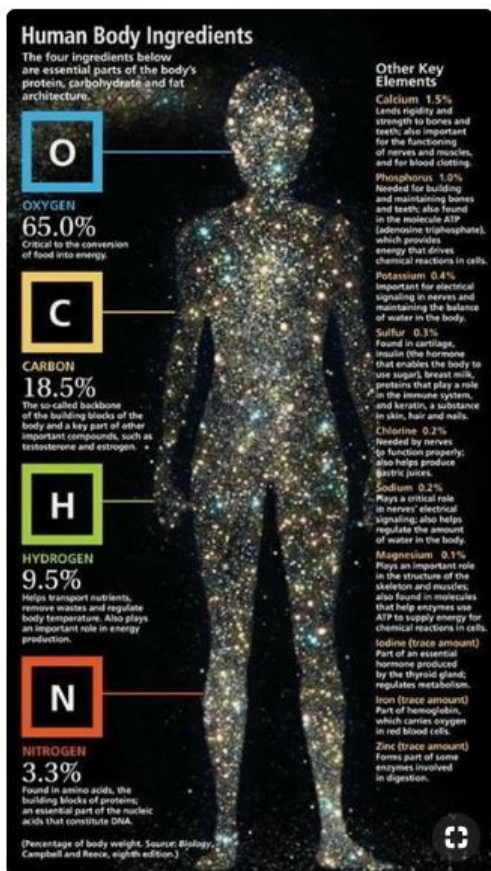
1. 10 millones de años en la secuencia principal quemando hidrógeno en su núcleo
2. 1 millón de años quemando helio
3. 300 años quemando carbono
4. 200 días quemando oxígeno
5. 2 días quemando silicio
6. Explosión de supernova

La supernova 1987A se observó en 1987 en la nube de Magallanes, que está a unos 180.000 años luz, tiempo que tardó en llegarnos la luz de la explosión a la Tierra. 10 años más tarde, el telescopio Hubble tomó la foto de la derecha, con el material eyectado alejándose a gran velocidad del remanente de la estrella.



Se calcula que hay una explosión de supernova cada 100 años en una galaxia. De los restos de una supernova, se forma una nebulosa planetaria (por el tamaño similar) si la estrella original es inferior a 8 masas solares o una nebulosa (estelar) si la masa es mayor. En ambos casos, están formadas por H ionizado, He, Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Hierro, Azufre, Neón... en definitiva

los elementos de los que estamos formados.



Como reflexión y actividad final, vale la pena dedicar un tiempo a considerar que estamos hechos del “polvo” de estrellas. Se propone que los alumnos traigan materiales de elementos de los cuales estamos formados para dibujar o ensamblar un mapa del cuerpo humano con ellos.






PARA SABER MÁS

- [@ Diagrama de Hertzsprung-Russell](#)
- [@ Evolución de una estrella](#)
- [@ Efecto Doppler](#)
- [@ Descubrimiento del Helio](#)
- [@ Las mujeres de la tabla periódica](#)
- [@ La tabla periódica cumple 150 años](#)
- [@ El diario secreto de Henrietta S. Leavitt. El camino hacia el interior de las estrellas](#)
- [@ Resto de supernova](#)

Deberes

A continuación, con el objetivo de afianzar lo aprendido, se propone la siguiente actividad, que se puede desarrollar en un lenguaje de programación, como por ejemplo en [Scratch](#), si los alumnos tienen base de programación, y/o en papel, dibujando el algoritmo correspondiente. La aplicación [Star in a box](#) es muy gráfica para entender las fases de la evolución de una estrella y deducir las instrucciones del programa.

El objetivo es describir el destino de una estrella de manera dicotómica dependiendo de su masa.

Símbolo	Nombre	Función
	Inicio / Final	Representa el inicio y el final de un proceso
	Línea de Flujo	Indica el orden de la ejecución de las operaciones. La flecha indica la siguiente instrucción.
	Entrada / Salida	Representa la lectura de datos en la entrada y la impresión de datos en la salida
	Proceso	Representa cualquier tipo de operación
	Decisión	Nos permite analizar una situación, con base en los valores verdadero y falso

Como extras, se pide que investiguen sobre la historia de:

- cómo se descubrió el espectro,
- cómo se descubrieron los rayos infrarrojos,
- cómo se descubrieron los rayos ultravioletas.

CONCLUSIÓN:

Tiempo: 30 minutos

Contenido: Resumen de lo aprendido



- Se muestra el video [El diario secreto de Henrietta S. Leavitt. El camino hacia el interior de las estrellas](#) y se comenta.
- Co-evaluación de los algoritmos y programas desarrollados, previo pacto de una rúbrica propuesta por los alumnos.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](#)