

LAS ESTRELLAS

Profesor: Jorge Ianiszewski Rojas (2016)

La primera generación de estrellas se habría formado unos 200 millones de años después del Big Bang a partir de las nubes de gas primordial de hidrógeno y helio creados en los primeros segundos del Universo. Estas estrellas fueron importantes en las primeras épocas del Universo ya que luego de finalizar como supernovas repartieron por el espacio interestelar los primeros elementos pesados. Estas primeras estrellas se denominan: de Población II, o estrellas de baja metalicidad.

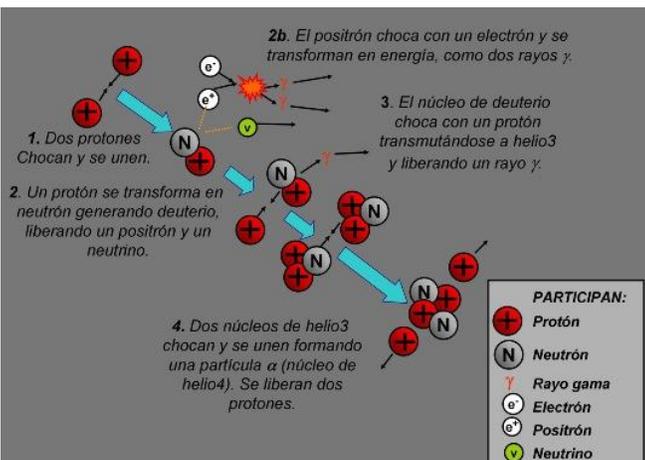
La formación estelar ha decrecido desde hace unos 10 mil millones de años. Actualmente las nuevas estrellas, llamadas de Población I, se forman principalmente en los discos de las galaxias espirales a partir del material que aportan las nubes de gases y polvo (nebulosas) que allí existen.

Las nebulosas (también llamadas nubes moleculares) son vastas regiones de gas interestelar, formadas principalmente de hidrógeno (H₂) y helio, en un 74% y 24% respectivamente, además de un pequeño porcentaje de gases más pesados, como oxígeno, carbono, nitrógeno y neón, presentes en la forma de CO₂, CH₄ y H₂O, mezclado con polvo interestelar rico en silicio, hierro, aluminio y otros elementos pesados.

Las nebulosas son los objetos más voluminosos dentro de las galaxias y en promedio son unas 500 mil veces más masivas que el Sol y contienen en conjunto el 1% de la masa galáctica. Aunque son muy sutiles, apenas unos cientos de veces más densas que el espacio interestelar que las rodea, con un nivel de vacío (300 a 1.000 moléculas/cm³) que ningún laboratorio podría lograr, ejercen poderosas influencias gravitacionales.

La mayoría de las estrellas de la Población I, son como el Sol, gigantes esferas giratorias de plasma, con una proporción de 74% de hidrógeno, 24% helio y 2% de elementos pesados. Con una densidad media similar a la del agua (1 gr/cm³), aunque en sus corazones la densidad puede alcanzar entre los 90 y los 150 gr/cm³, mientras que en sus capas exteriores la densidad es menor que del agua. Debido a la altísima densidad existente en los centros estelares, la temperatura llega allí a decenas de millones de grados, mientras que en la superficie puede ser de algunos miles de grados.

Debido a la enorme masa, presión y calor de sus centros, allí se dan procesos de fusión nuclear que liberan formidables cantidades de energía. Esta poderosa e inusual fuente de energía, junto a su enorme tamaño, nos permite verlas brillar, a pesar de la enorme distancia a la que se encuentran de nosotros.



Antes del descubrimiento de la energía nuclear a comienzos del siglo, nadie podía explicar el mecanismo mediante el cual el Sol brillaba desde hace tanto tiempo sin agotar su combustible. Gracias a que Einstein relacionó la energía con la masa, en su famosa fórmula: $E = mc^2$, pudo descubrirse el origen del combustible estelar, el modelo final fue elaborado en 1938 por Bethe, Weiszäcker y Critchfield.

Figura 1. Fusión protón – protón.

La Formación de una Estrella

El proceso se inicia cuando las **nébulas interestelares**, formadas por hidrógeno molecular y helio (89% H, 9% He y 1% metales, por masa), son afectadas por las ondas de choque de alguna explosión estelar cercana, o por las mareas gravitacionales de la galaxia. Estas fuerzas comprimen las nubes, fragmentándolas, dándoles movimiento, y generando procesos de precipitación de materia hacia los sectores más densos (grumos), donde la gravedad comienza a atraer moléculas de gases de sus alrededores transformándose en sumideros de materia.

En el interior de estos "**centros protoestelares**" de la nébula, los gases cada vez más comprimidos aumentan su temperaturas. Al llegar a los dos mil grados, comienzan a romperse los enlaces moleculares y atómicos del hidrógeno y el helio, liberando los **electrones**.

Cuando la densidad y el calor de los gases en un "**centro**" llega a los 10 millones de grados, comienzan a encenderse reacciones termonucleares de fusión de núcleos de hidrógeno, que transforman protones (H^+) en núcleos de helio, (He_4^+), liberando energía (Ver figura 1). Cuando estas reacciones llegan a ser masivas y la presión de la energía liberada puede contrarrestar la contracción gravitacional de la nébula, la estructura estelar se estabiliza y nace la estrella.



Figura 2. La presión de la energía radiada, desde el pequeño corazón de la estrella, (8 % de su volumen) resultante de la fusión nuclear, actuará como contrapeso temporal a la gravedad de la masa de la propia estrella, sosteniendo su inmensa estructura. La estrella queda formada por un núcleo central, rodeado por una profunda capa de plasma de hidrógeno a gran temperatura, sobre ella flota otra capa más fría donde los gases parecen hervir, luego viene la atmósfera estelar o cromósfera, que es la parte que vemos de la estrella.

La radiación y las partículas emitidas por la nueva estrella como viento estelar, se encargarán de despejar los restos de la nube madre, dejando a la estrella brillar en plenitud. Algunas estrellas quedan rodeadas por un disco de polvo, donde podrían llegar a formarse planetas antes de ser dispersado.

Las estrellas y los demás objetos astronómicos, emiten el 99 por ciento de su energía en forma de fotones, o cuantos de luz, partículas sin masa que viajan a la velocidad de la luz, excitados a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético.

La mayor parte de estos fotones estelares (80%) es emitido en la frecuencia de la luz visible, el resto sale como ondas de radio, radiación ultravioleta o infrarroja, rayos gamma o rayos X. La astronomía estudia todas estas emisiones de energía, pues cada tipo de onda, entrega una parte de la información total de los fenómenos estudiados.

NOTA: El Sol desintegra 4 millones de toneladas de materia por segundo, sin embargo su masa total es tan grande, que tal pérdida no será nunca significativa.

Espectro Electromagnético:

Frecuencia en Metros	Tipo de Onda	Sistema de Observación
10^{-15} a 10^{-9}	Rayos Gamma y X	Satélites
10^{-8} a $10^{-6.5}$	Radiación Ultravioleta	Telescopios, Satelites
$10^{-6.5}$ a $10^{-6.2}$	Luz Visible	Telescopios
$10^{-6.2}$ a 10^{-4}	Radiación Infrarroja	Satélites
10^{-4} a 1	Radiación de Microondas	Radiotelescopios
1 a 10^8	Radiación de Onda Larga	Radiotelescopios

1 Amstrong = 10^{-8} cm.

La Vida de las Estrellas

La luminosidad, (magnitud absoluta), el color y la duración de una estrella dependen de la cantidad de gas que incorporó en su formación, y de su edad. Una estrella normal, puede tener desde una décima parte hasta diez veces la masa del Sol; existen algunas estrellas excepcionales con masas superiores e inferiores.

Casi todas nacen azules y brillantes, producto de la alta temperatura que alcanzan al inicio. Luego de millones de años de actividad gastan su combustible, se enfrían y cambian de color: desde el azul al blanco; luego al amarillo; al naranja; y finalmente al rojo. Es la llamada Secuencia Principal de las estrellas, que para la mayoría dura unos 10 mil millones de años.

Las que partieron con mucha masa y gran tamaño: Gigantes y Súpergigantes Azules, tienen una vida corta, pues consumen rápidamente su combustible.

Las estrellas son piezas fundamentales en la estructura del universo, y contienen una parte importante de toda la materia existente y que podemos percibir. En sus interiores se fabrican, con la excepción del hidrógeno, formado durante el nacimiento del universo, todos los elementos químicos que existen, incluidos cada uno de los átomos que por diversos caminos, han llegado a conformar nuestros organismos.

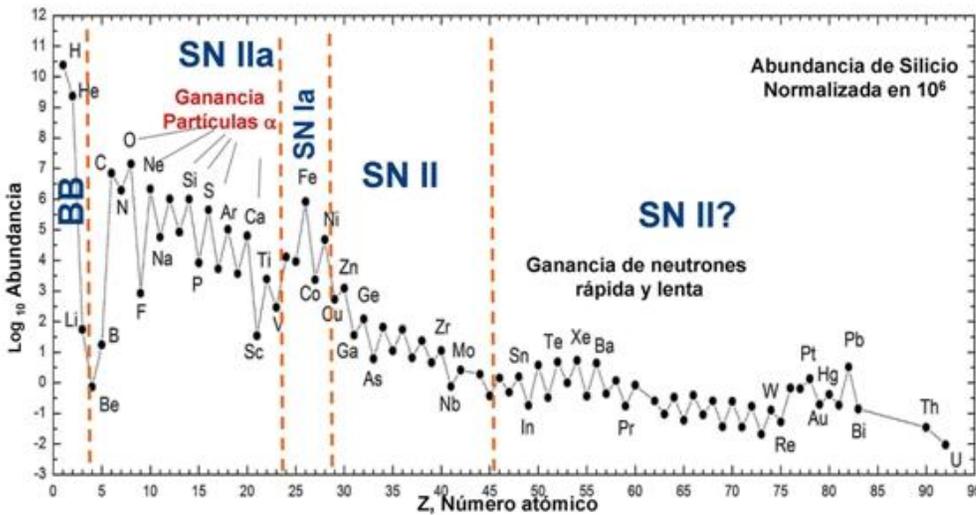


Figura 3. La abundancia de los elementos en el Universo da cuenta de su origen.

Notas:

- BB:** Big Bang
- SN Ia y SN II:** Supernovas generadas por estrellas masivas, de 5 o más Masas Solares.
- SN Ia:** Supernovas producto del estallido de una estrella enana blanca.

TEMPERATURA Y COLOR

Para clasificar las estrellas se utiliza una escala que considera la temperatura y el color dominantes. Los grupos son: W, O, B, A, F, G, N, R, K y M. Siendo las de tipo W y O las más calientes, y las más frías las tipo M. Mientras mayor temperatura tiene un cuerpo más se acerca al color azul del espectro, al contrario los tonos rojizos indican menor temperatura.

El brillo de una estrella depende de su composición y de su tamaño, por lo que una estrella gigante roja y fría, puede llegar a brillar igual o más que una estrella caliente y azul.

Equivalencias en colores, temperaturas superficiales y composición				
Tipo	Color	Temp. Superficial	Ejemplos	Composición
O	Azules	25.000° a 50.000°C	Zeta Puppis	He, Si
B	Celestes	11.000° a 25.000°C	Beta Cruz	He, Si, Mg, O
A	Blanca-azul	7.500° a 11.000°C	Sirio	H, y Metales
F	Blanca	6.000° a 7.500°C	Proción	Ca, Metales
G	Amarilla	5.000° a 6.000°C	Sol y Capella	H, He, Metales
K	Anaranjadas	3.500° a 5.000°C	Arturo	Metales, H, He
M	Rojas	< 3.500°C	Betelgeuse	Metales, Ti, Cal

La composición de las estrellas se estudia haciendo pasar su luz por un **espectrógrafo**, que descompone la luz emitida desde la capa superficial y atmósfera del astro. Comparándolo con los espectros de gases incandescentes conocidos, se puede deducir la composición y la edad de las estrellas. Así sabemos que las estrellas más frías y rojas contienen elementos químicos pesados, mientras que las azules contienen principalmente los elementos primordiales: H y He.

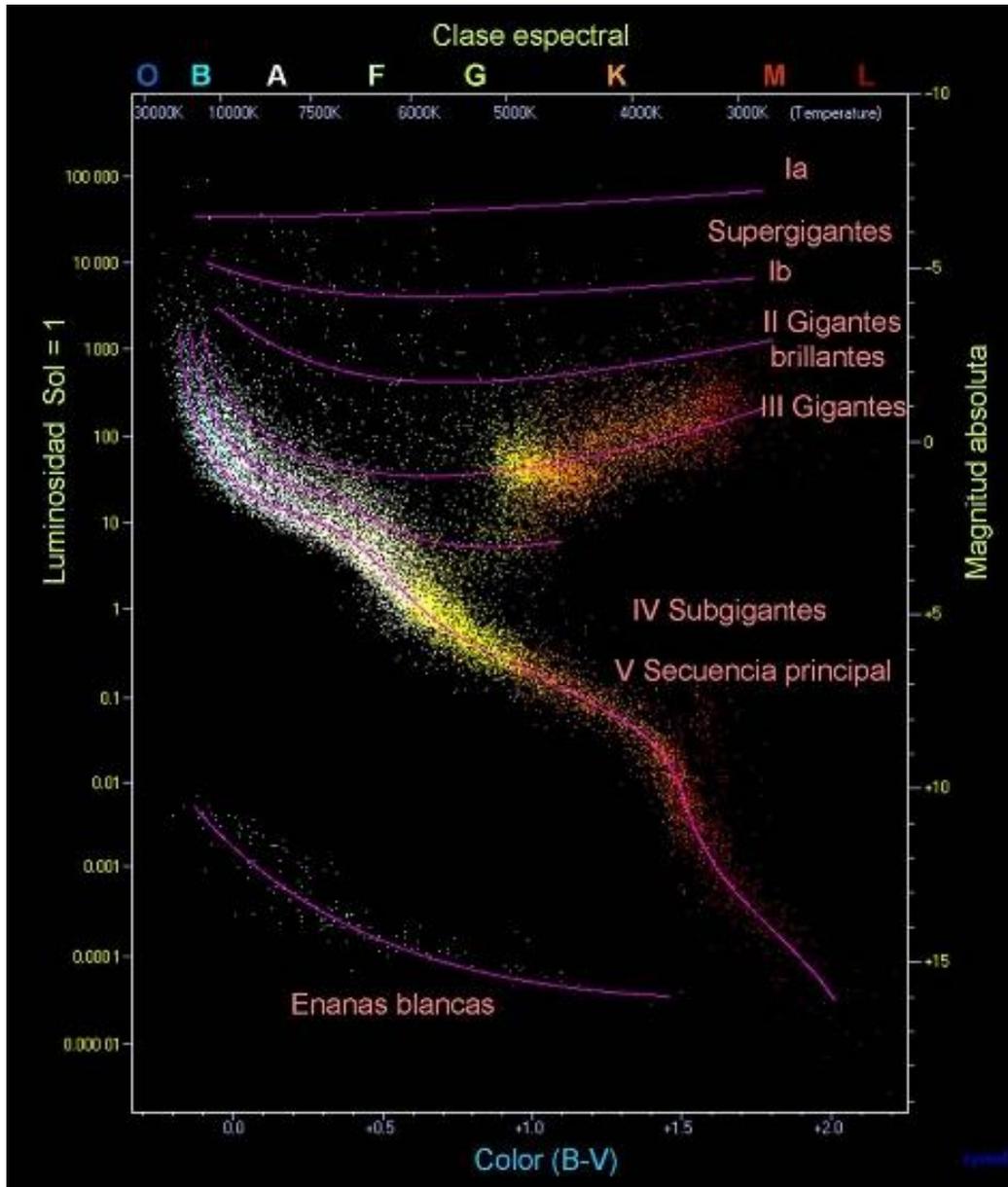


Figura 4. Diagrama de Hertzsprung-Russell para clasificar las estrellas por color y luminosidad.

TIPOS DE ESTRELLAS

Múltiples (Binarias): Alrededor del 80% de las estrellas (6) pertenecen a sistemas de dos o más estrellas que orbitan en torno a un centro de masa común. Con la ayuda de un par de prismáticos podemos distinguir varias parejas estelares. Algunas poseen compañeras casi invisibles: enanas blancas o estrellas de neutrones. Ej: **Alfa Centauro, Alfa Crux.**

Dobles Ópticas: Son estrellas que aparecen como múltiples, por quedar casualmente en la misma línea de visión, pero que en realidad están muy distantes entre sí. Ejemplo: **Beta Sagitario.**

Gigantes Rojas: Es una de las etapas finales en la vida de las estrellas. Se inicia cuando el hidrógeno comienza a escasear, disminuyendo la producción de energía en el centro y la presión de la radiación que resiste a la fuerza de gravedad. Se produce entonces una contracción en el núcleo, que lleva a un aumento de su densidad y temperatura, recalentando las capas superficiales que se dilatan transformándola en una **gigante roja**. Su diámetro puede llegar a ser hasta 100 veces el original. Puede producirse una segunda etapa de nucleosíntesis con los núcleos de helio, que son transformados en núcleos de carbono y oxígeno. Una vez consumido el helio la estrella entra en una segunda fase de **gigante roja** y comienza a eyectar materia a través de un poderoso viento estelar. Ej: **Betelgeuse**, en Orión.

Estrellas con Discos: Algunas estrellas jóvenes presentan grandes discos de polvo, que algunos científicos consideran como posibles **discos protoplanetarios**, que han resistido la presión del viento estelar y que podrían evolucionar para formar planetas y/o cometas, como ocurrió con el sistema solar. Ej: Beta Pic.

Variables: Estrellas que varían notablemente su brillo y/o color, en forma regular cada cierto período de tiempo. En las estrellas súpergigantes tipo "**Variables Cefeidas**", el aumento del brillo se produce por la expansión de grandes masas de gas recalentado en las capas exteriores. Al alejarse se enfrían y pierden energía, siendo luego atraídas por la gravedad, produciendo una contracción, tras la cual vuelven a calentarse y expandirse, repitiendo el proceso. El tiempo entre expansión y contracción, que depende de la masa, fluctúa entre 1 a 300 días, y entre las magnitudes absolutas de 2 y 0,5 respectivamente, mientras más larga la fluctuación, mayor es su luminosidad. Estas estrellas son utilizadas por los astrónomos como varas de medir. Ej: **Beta Crux** y **Zeta Gémini.**

La pulsación puede ser también producida por el paso de una compañera frente a nuestra línea de visión, como en las **variables eclipsantes.**

Las variables **Mira**, son estrellas gigantes rojas, con un radio que englobaría la Tierra y una masa equivalente a la del Sol. Tienen una densa **cromósfera**, o atmósfera estelar, formada por gases moleculares y polvo que opacan su luminosidad. La pulsación en estas estrellas se produce por la liberación de la presión de la radiación atrapada en esta atmósfera Ej: **Mira Cetus.**

Enanas Rojas: Estrellas con una masa entre 0,7 y 0,1 masas solares y con baja luminosidad. A pesar de su humilde condición, son posiblemente las estrellas más numerosas del Universo (7). **UV Ceti** (AR 1h:39,5' Dec 17,5°S) es una enana roja cercana, a 8,9 al, Presenta fulguraciones que la llevan desde la magnitud 13 a la 7.

Enanas Blancas: Etapa final de las estrellas gigantes rojas con masa inferior a 6 masas solares. En su colapso final eyectan la mayor parte de su materia al espacio formando una vaporosa nube, llamada **nebulosa planetaria**, de gases ionizados que serán iluminados durante un tiempo por el cuerpo aun caliente de la estrella moribunda.

Los científicos suponen que las **enanas blancas** están formadas por una masa de unas 0,6 masas solares de núcleos atómicos y electrones libres (o degenerados), comprimidos a un diámetro como el de la Tierra. La gravedad en su superficie es unas cien mil veces mayor que la de la Tierra. Sus temperaturas varían entre los 100.000° y los 4.000° y como no tienen una fuente interna de calor se enfriarán lentamente, en un plazo de unos mil millones de años.

Se caracterizan por su gran densidad, 3 toneladas / cm³. Una cucharada de te de este material pesa lo mismo que un elefante.

Supernovas: Violentas explosiones de estrellas con masas mayores que 5 soles, que en su etapa de Gigantes Rojas iniciaron reacciones termonucleares con el carbono y el oxígeno, produciendo silicio, elemento que a su vez sirvió como nuevo combustible nuclear, dejando como último residuo núcleos de hierro.

Los problemas comienzan debido a la presencia de los núcleos de hierro, en las condiciones existentes en el centro de la estrella y a pesar de la alta temperatura allí existente, éstos núcleos no liberan energía al chocar entre ellos, sino que la pierden.

Estas reacciones ocurren simultáneamente a diferentes profundidades de la estrella, conformando capas de actividad termonuclear, que con la gran cantidad de energía radiada contrarresta la gravedad de la súperestrella que la empuja hacia su centro. Sin embargo esta enorme construcción estelar tiene un punto débil: su alta temperatura y la producción de **neutrinos** en el núcleo.

Al llegar en el núcleo a los 5 mil millones de grados de temperatura, durante la combustión nuclear del silicio, los núcleos atómicos producidos durante la vida de la estrella, vuelven a disociarse en protones, neutrones y neutrinos, revirtiendo el proceso de formación de elementos, lo que consume energía y disminuye la temperatura. Los neutrinos al escapar del núcleo ayudan a enfriarlo. El núcleo pierde estabilidad y en menos de un segundo, se produce el colapso definitivo de la estrella gigante: la implosión, el triunfo definitivo de la fuerza de atracción gravitacional.

En la caída, las capas superiores de la estrella irán a rebotar en su núcleo generando una formidable explosión de **supernova**, en la que expelle la mayor parte de su materia, generando por algunos días una luminosidad tal que puede opacar a la de toda su galaxia. La enorme presión ejercida sobre el núcleo estelar lo transformará ya en una **estrella de neutrones**, o en un **agujero negro**.

Aunque los astrónomos detectan varias supernovas al año, éstas ocurren en galaxias distantes, por lo que es difícil poder observarlas a simple vista. En nuestra Galaxia no se ha registrado ninguna en los últimos 400 años, sin embargo en Mayo de 1987 una estrella de la Gran Nube de Magallanes, la galaxia más cercana a la Tierra, explotó como supernova y fue posible verla desde la Tierra, se la llamó ingeniosamente SN1987A.

Estrellas de Neutrones (Pulsares): Remanentes de estrellas gigantes, con más de 9 masas solares, luego de su colapso gravitatorio como supernova y uno de los objetos más extraños que los astrofísicos han podido extraer de sus sombreros siempre llenos de sorpresas. Se supone que existen en nuestra Galaxia unos 100 millones de estrellas de este tipo.

Están formados por neutrones muy condensados, con una masa de 1,4 veces la del Sol, aplastados por la gravedad en una esfera de 10 km de diámetro, (densidad de 4x10E17 kg/m³), rotando a una velocidad de cientos de veces por segundo. Generan un potente campo magnético que emite energía en la frecuencia radial que puede ser captada desde la Tierra como rápidas pulsaciones.

Enanas Marrones: Son estrellas que por tener una masa pequeña, de unas 0,08 Masas Solares, no inician el proceso de fusión del hidrógeno en gran escala y sólo brillan un corto tiempo mientras terminan de contraerse. Al final llegan a parecerse a un gran planeta frío y opaco, como Júpiter, cuyo origen fue diferente al de una estrella de este tipo.

Se ha supuesto la existencia de voluminosos halos de enanas marrones en torno a las galaxias (**MACHOS:** Masive Halo Objects o **materia oscura**) que aportarían nada menos que el 90%, de la masa de las galaxias. Pero al ser pequeñas y oscuras son de difícil detección y aunque se conocen varias enanas marrones no se ha comprobado la existencia de dicho halo galáctico.

Estrellas Capullo u OH/IR: Son estrellas del tipo **Mira**, etapa avanzada de las Gigantes Rojas, rodeadas por un capullo de material opaco expulsado por la misma estrella y que no permite observarlas directamente. Se detectan por la radiación infrarroja emitida desde el capullo. Podrían ser muy numerosas y constituir gran parte de la materia oscura e invisible de las galaxias.

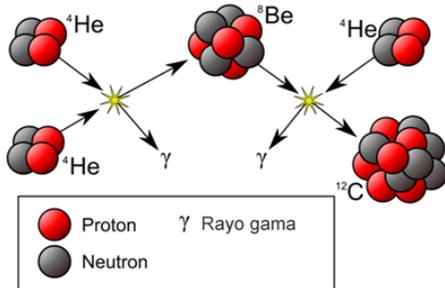


Figura 5: Formación de carbono por fusión de núcleos de helio en el corazón de estrellas gigantes rojas..