

Destino de Estrellas Masivas

Mauro Jélvez

July 2024

Variables azules

Períodos muy largos: cambios en el brillo impulsado por erupciones. Con $10^6 L_{\odot}$ estas estrellas se aproximan al límite superior de masas estelares.

Recordemos el límite de Eddington:

$$L_{Ed} = \frac{4\pi G c}{\bar{\kappa}} M$$



El límite "clásico" de Eddington asume que la opacidad es debida totalmente al scattering de los electrones libres.

Estrellas Wolf-Rayet

Hay más de 220 WR en la vía láctea. Tienen poca variabilidad fotométrica.

- Temperaturas entre 25.000-100.000 K
- Pérdida de masa de $10^{-5} M_{\odot}$ /yr
- Velocidad de rotación de aprox 300 km/s
- Masas de aprox $20 M_{\odot}$

Extraños patrones de abundancia con amplias líneas de emisión

Most massive stars never evolve to the RSG

$M > 85 M_{\odot} : O \rightarrow Of \rightarrow LBV \rightarrow WN \rightarrow WC \rightarrow SN$

$40 M_{\odot} < M < 85 M_{\odot} : O \rightarrow Of \rightarrow WN \rightarrow WC \rightarrow SN$

$25 M_{\odot} < M < 40 M_{\odot} : O \rightarrow RSG \rightarrow WN \rightarrow WC \rightarrow SN$

$20 M_{\odot} < M < 25 M_{\odot} : O \rightarrow RSG \rightarrow WN \rightarrow SN$

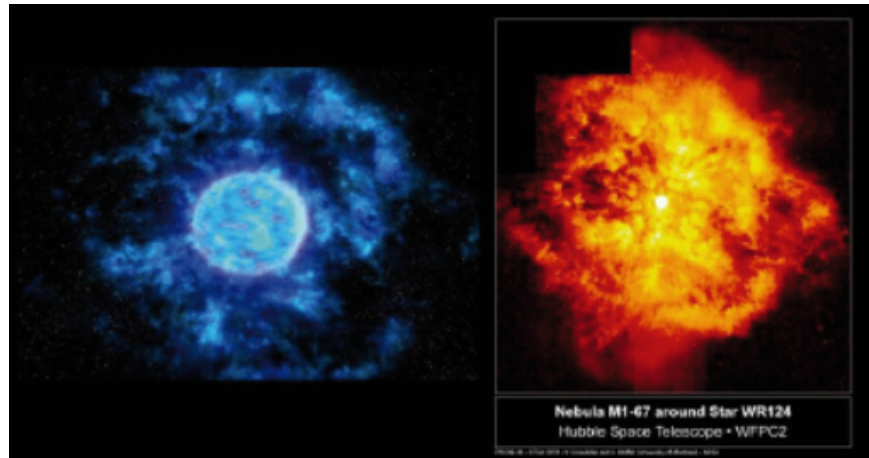
$10 M_{\odot} < M < 20 M_{\odot} : O \rightarrow RSG \rightarrow BSG \rightarrow SN$

Con:

Of: Tipo espectral O, emisión

LBV: Luminous blue variables

RSG: Red supergiant



Evolución en diagrama HR de estrellas masivas

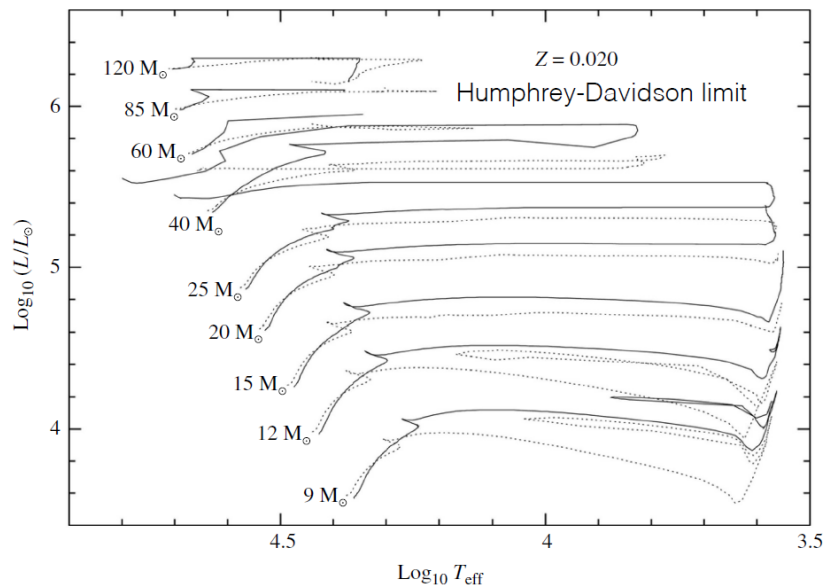


FIGURE 3 The evolution of massive stars with $Z = 0.02$. The solid lines are evolutionary tracks computed with initial rotation velocities of 300 km s^{-1} , and the dotted lines are evolutionary tracks for stars without rotation. Mass loss has been included in the models and significantly impacts the evolution of these stars. (Figure from Meynet and Maeder, *Astron. Astrophys.*, 404, 975, 2003.)

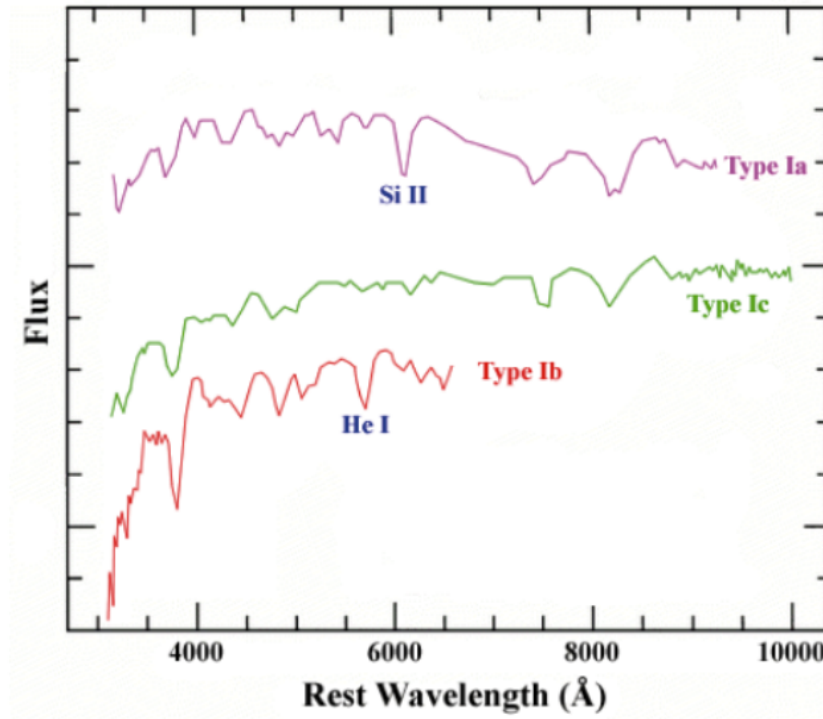
Clasificación de Supernovas

No hay hidrógeno en el espectro y pierden la envoltura de hidrógeno.

Tipo Ia: Líneas fuertes de Si II, se encuentran en todo tipo de galaxias.

Tipo Ib: Para estrellas masivas de vida corta con fuertes líneas de helio I, se encuentran solo en galaxias espirales.

Tipo 1c: Líneas débiles de He I, sólo en galaxias espirales.

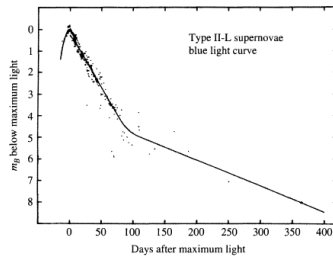
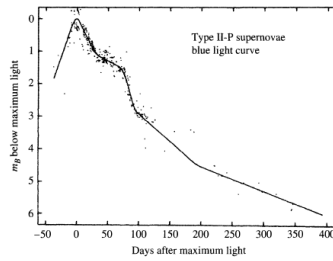


Tipo I

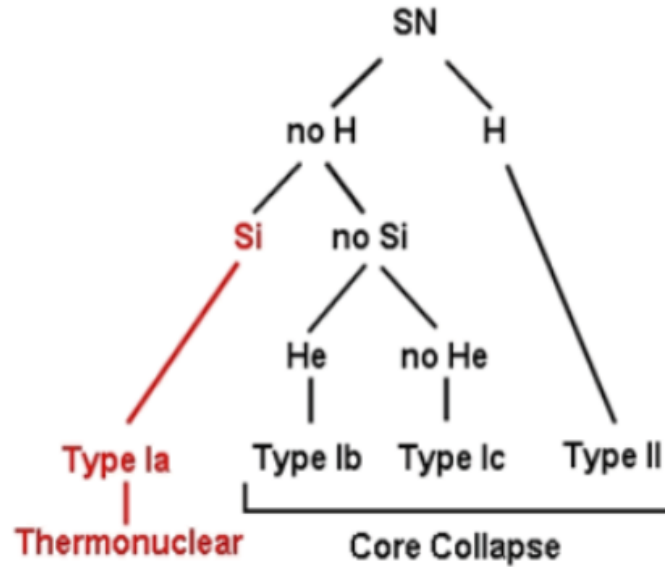
Resultado de transferencia de masa en sistemas binarios que contienen una enana blanca, suceden cuando la enana blanca supera el límite de Chandrasekhar.

Tipo II-P y II-L

Las curvas de luz para las tipo II en tipo P (plateau) y L (linear), las tipo P ocurren aproximadamente 10 veces mas que las tipo L



Las tipo II tienen hidrógeno en el espectro.



Supernovas de colapso del núcleo

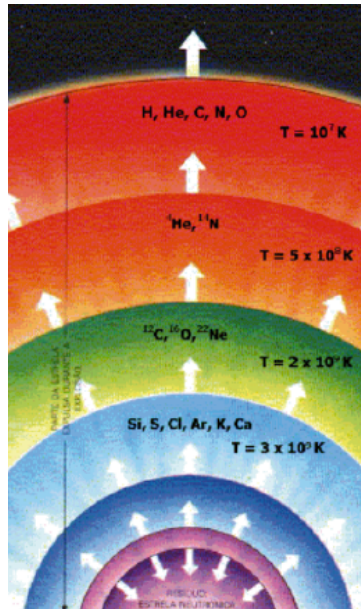
Las estrellas más masivas que $8 M_{\odot}$ terminan sus vidas con una explosión catastrófica (Tipo 1b, 1c, II).

Escalas de tiempo para una estrella de $20 M_{\odot}$:

- Quema de H (10^7 años),
- Quema de He (10^6 años),
- Quema de C (300 años),
- Quema de O (200 días),
- Quema de Si (2 días) \Rightarrow un núcleo rico en hierro.

En núcleos masivos ($1.3 M_{\odot}$ para una estrella ZAMS de $10 M_{\odot}$), puede ocurrir fotodesintegración: los fotones tienen suficiente energía para destruir núcleos pesados y comenzar a destruir elementos pesados. Este es un proceso altamente endotérmico: los electrones libres que habían estado proporcionando soporte degenerado son capturados por los núcleos y producen neutrinos que enfrían rápidamente el núcleo.

Las luminosidades de neutrinos pueden exceder las luminosidades de fotones por factores de 10^7 .



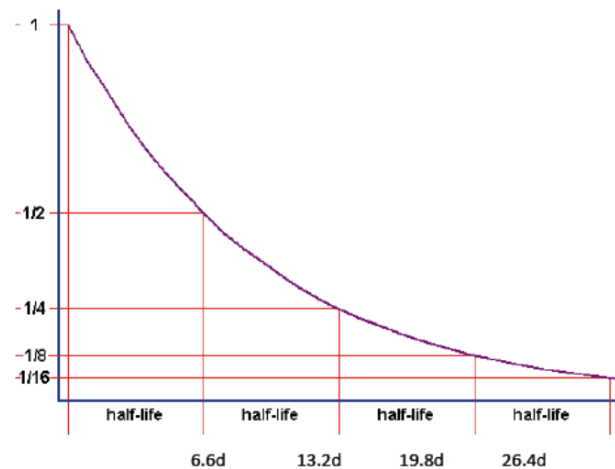
Las tipo II-P son las más comunes de colapsos nucleares, la fuente de energía de estas supernovas es debido grandemente a la energía depositada por el impacto en la envoltura rica en hidrógeno

Decaimiento radiactivo

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Donde N_0 es el número original de átomos y $\lambda = \ln 2 / \tau_{1/2}$



The decay of ^{56}Ni provides a quick source of energy that sustains the plateau luminosity in Type II-P SN.

SN 1987A

