

LFIS223

# Astronomía General

Mónica Zorotovic

e) Supernovas

Repaso temas 4 a 6

25/10

# Supernovas (SNe)



Las supernovas representan la muerte catastrófica de ciertas estrellas. Están entre los eventos más violentos del universo.

Producen una energía de  $\sim 10^{53}$  erg\*, gran parte de la cual se libera en el primer segundo de la explosión.

\*La luminosidad total del sol es de  $\sim 10^{33}$  erg/s

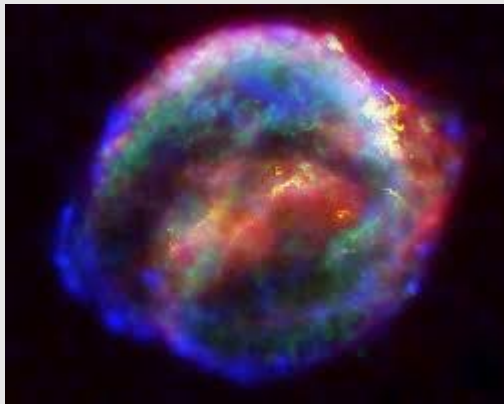
# Tipos de Supernovas

Hay más de un tipo de supernova, con dos metodologías principales para su clasificación:

- De acuerdo a las propiedades espectrales y de la curva de luz.
- De acuerdo con el mecanismo fundamental responsable de la liberación de energía.

Las características observacionales de las supernovas dependen de:

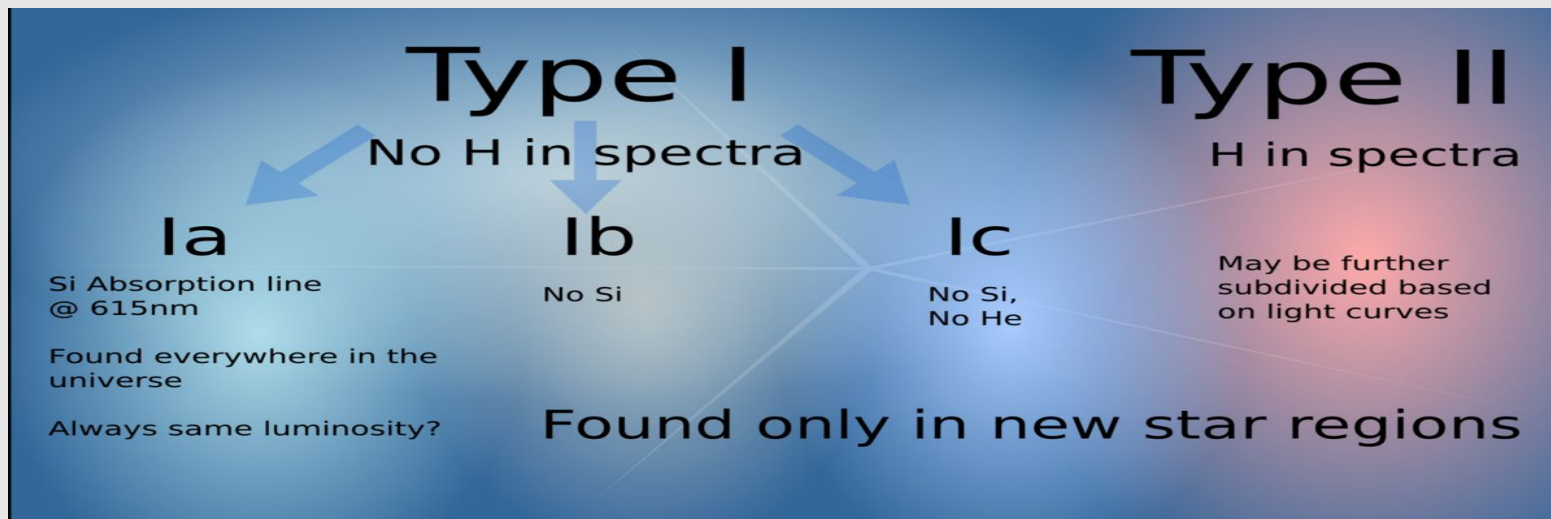
- El mecanismo interno que causa la liberación de energía (colapso del núcleo o reacciones termonucleares);
- La interacción de la energía inicialmente liberada con las capas externas circundantes (atmósfera extendida de la estrella).



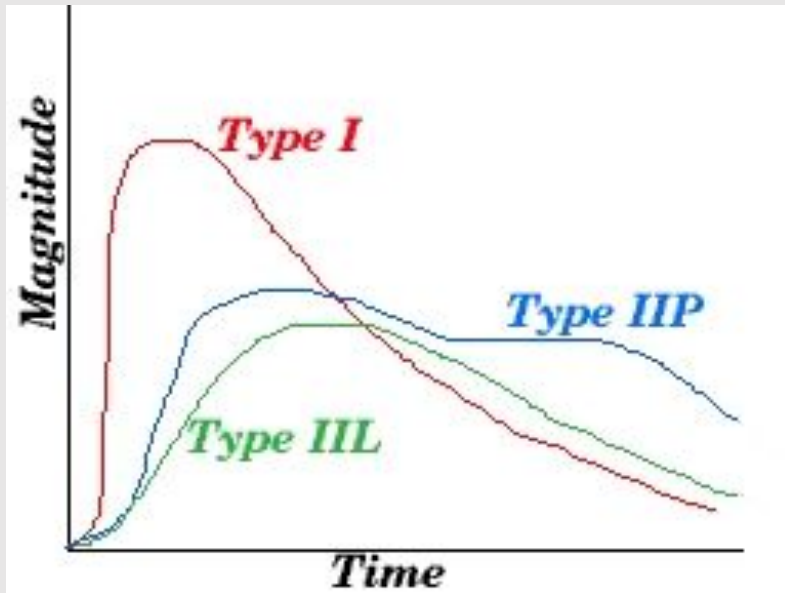
# Supernovas: Clasificación Espectral

La distinción principal depende de la presencia de líneas H en el espectro:

- Sin líneas H: Tipo I (Ia, Ib, Ic)
- Líneas H significativas: Tipo II.

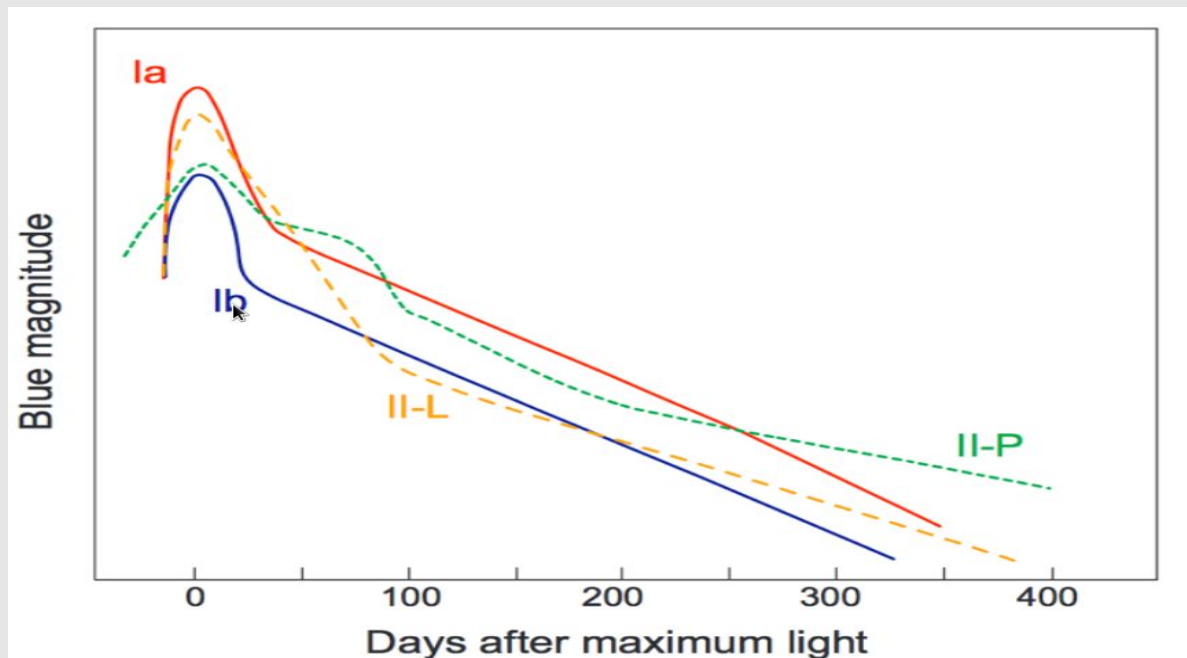


# Curvas de luz



**Tipo I:** Un máximo agudo y poco a poco va disminuyendo. Los máximos pueden ser  $\sim 10.000$  millones de luminosidades solares.

**Tipo II:** Picos menos agudos y máximos de  $\sim 1.000$  millones de luminosidades solares.



# Supernovas: Clasificación según generación de la energía

**SNe termonuclear:** La energía viene de las **reacciones termonucleares** descontroladas en materia densa y degenerada (enana blanca).

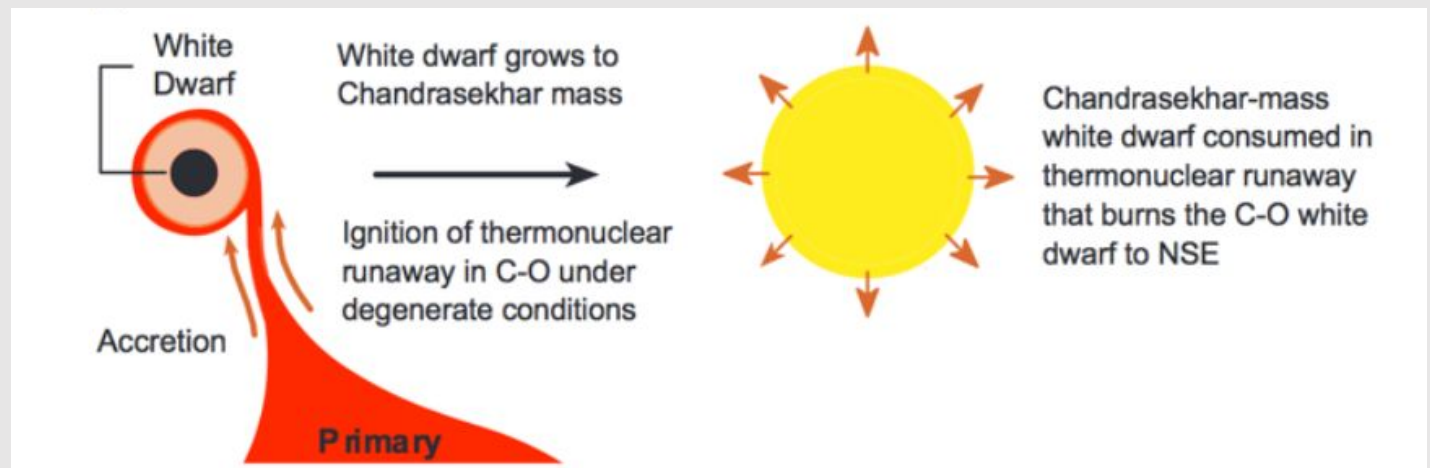
**Core-collapse SNe:** La energía viene del **colapso gravitacional** de un núcleo estelar masivo.

# Supernovas termonucleares

En esta categoría tenemos las SNe **Tipo Ia**

Resultan del **runaway termonuclear** de una **enana blanca** (en condición de degeneración) que está **acretando masa de una compañera**.

La materia se incorpora a la enana blanca convirtiéndose en C y O, hasta que la masa de la enana se aproxima al **límite de Chandrasekhar**.





# Supernovas termonucleares

Cerca del **límite de Chandrasekhar**, la altísima densidad puede gatillar el runaway termonuclear en el interior de la estrella, el cual inicialmente enciende el C y O.

Rápidamente (en cosa de segundos) esta quema descontrolada consume gran porcentaje de la masa de la enana blanca llegando hasta núcleos del grupo del hierro, liberando enormes cantidades de energía

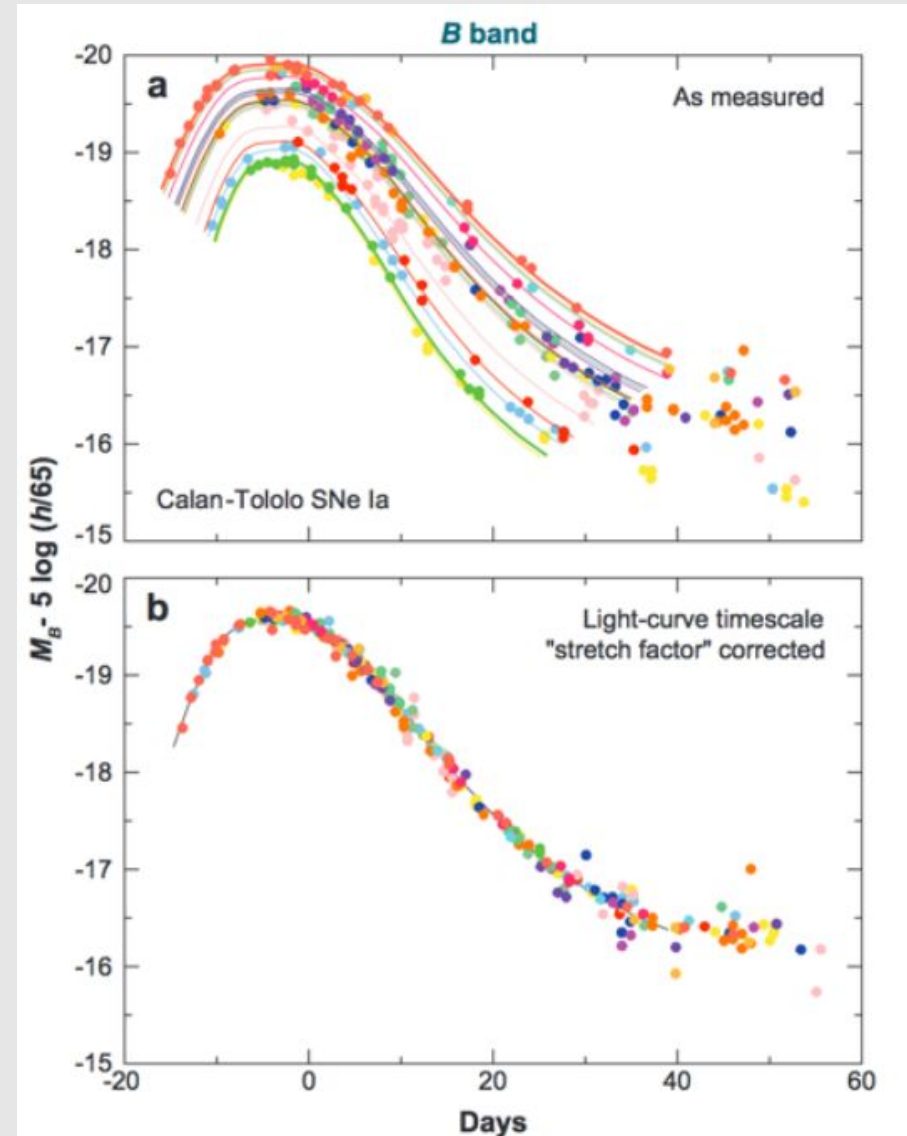
**Se encuentran en todo tipo de galaxias** y sus propiedades las convierten en muy buenos **estimadores de distancia**

# SN Ia: Velas estandar

SNe Ia son particularmente valiosas porque su brillo extremo los hace **visibles a distancias muy grandes**.

La estandarización de sus curvas y su alto brillo las han convertido en una herramienta central en la cosmología moderna.

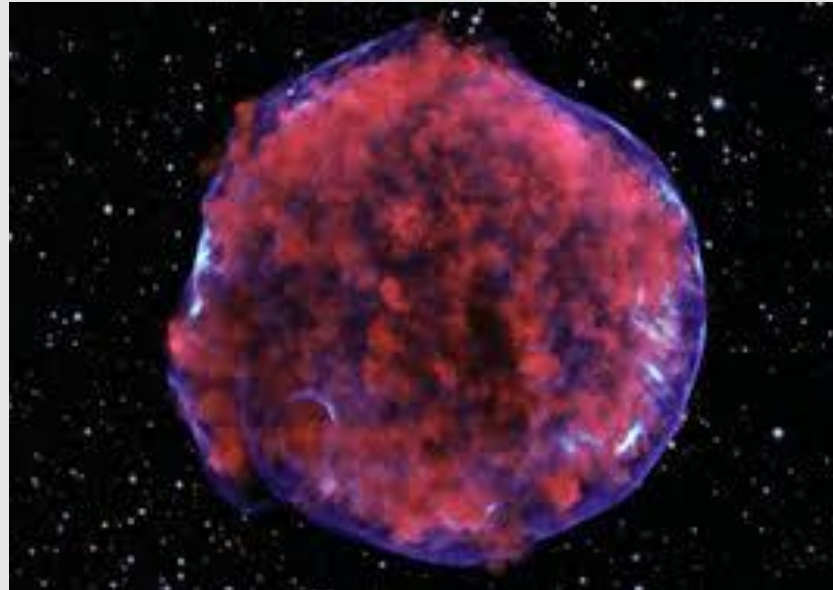
Son el indicador más directo de que la **expansión del Universo es acelerada**  
(PREMIO NOBEL!)



Calan-Tololo survey (Hamuy, et al. 1996)

La mayor parte del hierro en el Universo probablemente se origina en supernovas de Tipo Ia, y en menor grado en supernovas de tipo core collapse.

A diferencia de una una SN de core collapse, una SN Tipo Ia **no deja un remanente significativo** (la enana blanca es “consumida”)



# Supernovas Core-collapse

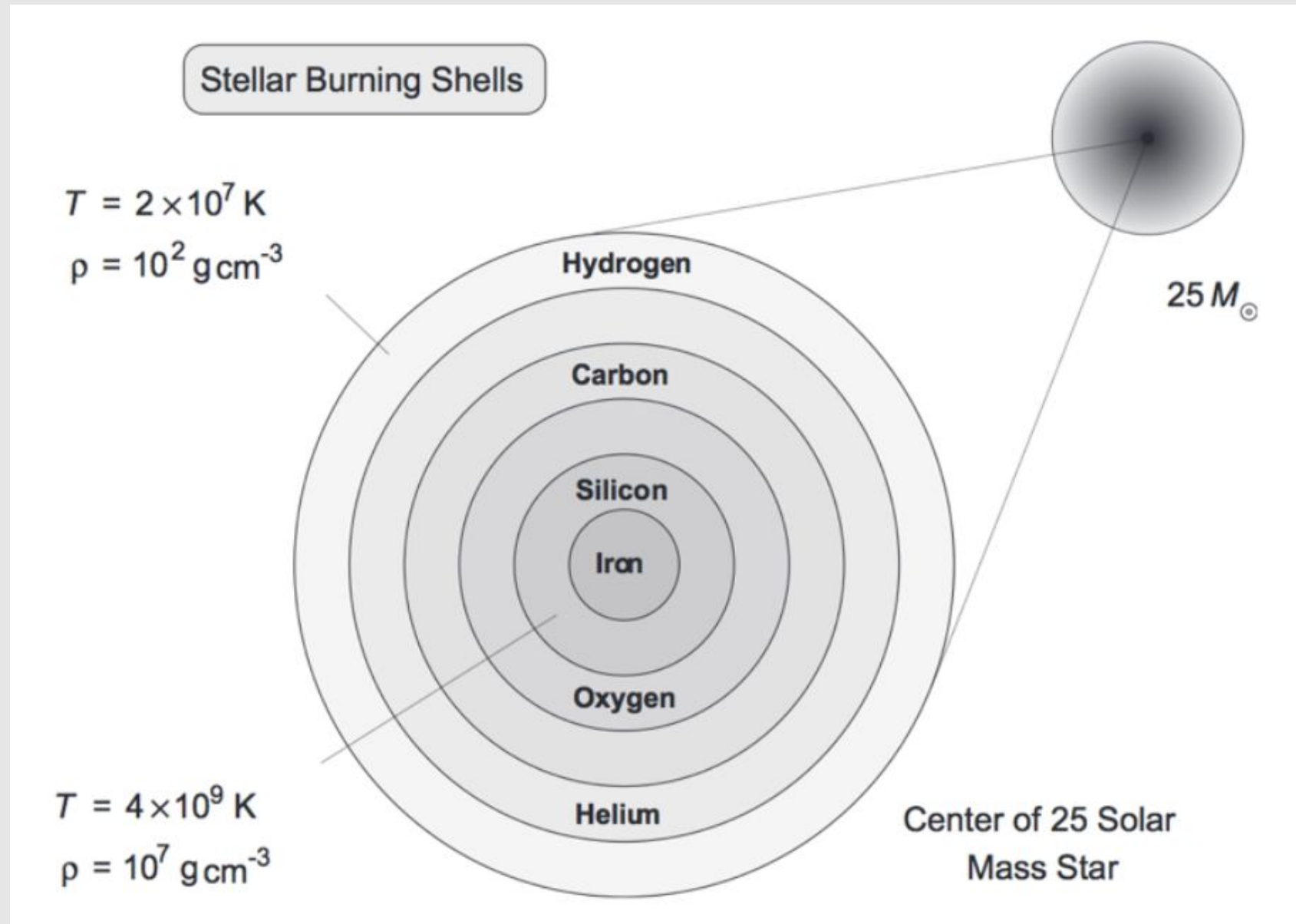
En esta categoría tenemos las SN **Tipo-II** y las de **Tipo Ib** y **Ic**

La energía viene del **colapso gravitacional** del núcleo de una **estrella masiva**

Las diferencias observacionales se deben principalmente a **diferencias en la envoltura externa**, y la influencia de esta en la curva de luz y el espectro

No se observan en galaxias elípticas, y se cree que son el resultado de la evolución de estrellas de **Población I** (jóvenes) en los **brazos espirales de las galaxias**

# Centro de una estrella de $25M_{\odot}$ al final de su vida



El núcleo de hierro no puede producir energía por fusión→ está soportado por la **presión de electrones degenerados**.

A medida que la capa de Si que lo rodea se va quemando, la **masa del núcleo de Fe aumenta**.

La presión de electrones degenerados sólo puede soportar al núcleo bajo el **límite de Chandrasekhar**, que depende de la fracción de electrones pero típicamente es  $\approx 1.1\text{--}1.4M_{\odot}$  para núcleos de Fe típicos.

Cuando el núcleo excede la masa crítica, comienza a colapsar muy rápidamente, des-acoplándose de las capas más externas. En  $\sim 1$  segundo, un volumen del tamaño de la tierra se comprime a un radio de  $\sim 50$  km.

La **fuerza fuerte**, usualmente atractiva, **se vuelve repulsiva**. El **núcleo interno “rebota”**, enviando ondas de presión hacia afuera, hacia el material que está cayendo hacia el núcleo. La velocidad de estas ondas alcanza la velocidad del sonido, construyendo una onda de choque hacia afuera.

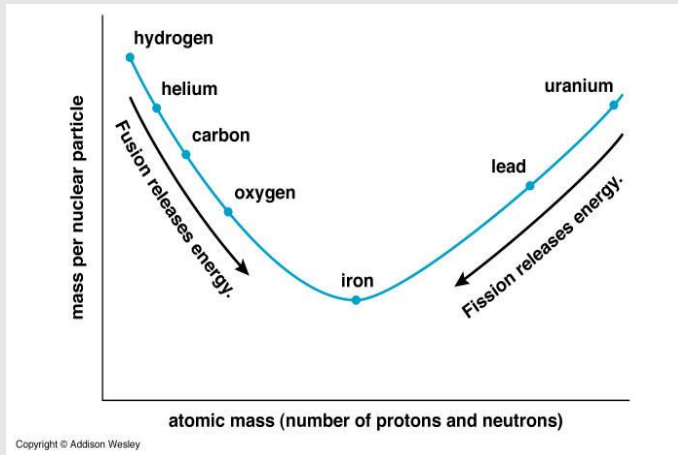
Cuando el material se vuelve ópticamente delgado (a un radio de  $\sim 100$  AU), se observa un tremendo aumento de luminosidad en el óptico, liberando  $\sim 10^{42}$  J de energía en forma de fotones, con una luminosidad máxima de  $\sim 10^9 L_{\odot}$ .



El remanente en expansión de SN 1987A, una supernova Tipo II-P en la Gran Nube de Magallanes. Imagen de la NASA.

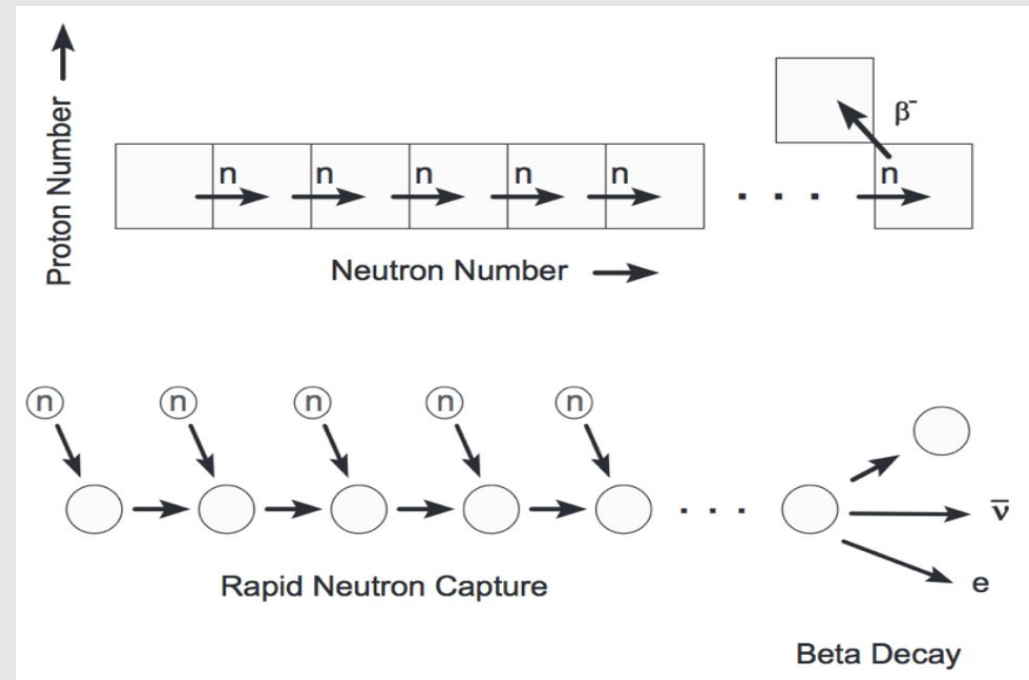


# Producción de elementos pesados




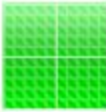

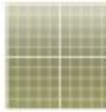



Los elementos más pesados no pueden resultar de reacciones nucleares normales en una estrella en equilibrio, ya que el peak de la energía de ligazón se da para los núcleos del grupo del Fe.

Se cree que la mayoría de los elementos pesados se producen en el proceso de “captura rápida de neutrones” (**r-process**), y en Supernovas hay suficientes neutrones para realizar este proceso

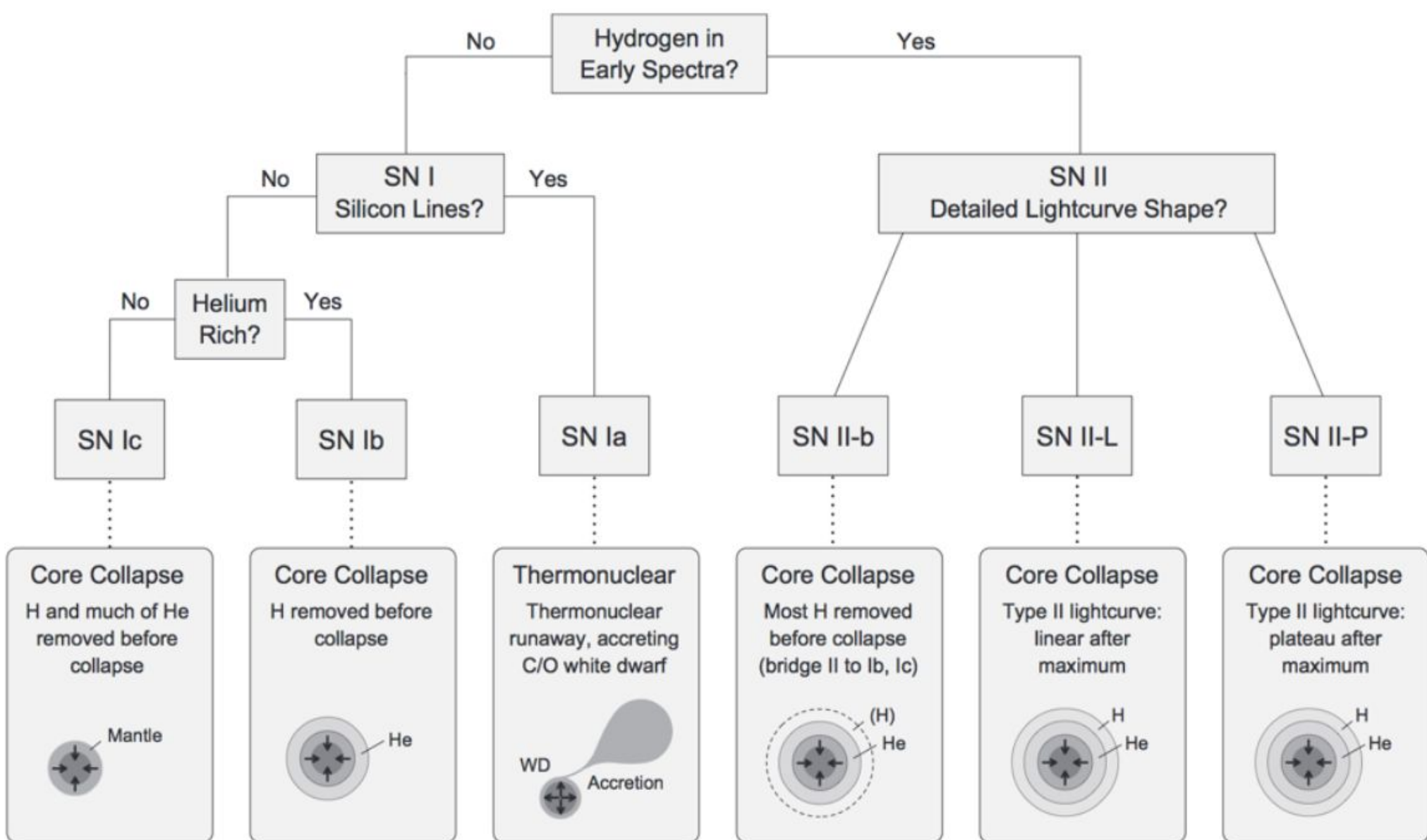




# Tabla Periodica

<div><div><div> Big Bang fusion</div><div> Dying low-mass stars</div><div> Exploding massive stars</div><div> Human synthesis No stable isotopes</div></div><div><div> Cosmic ray fission</div><div> Merging neutron stars</div><div> Exploding white dwarfs</div></div></div>																<div><div><div>H 1</div></div><div><div>He 2</div></div></div>	
<div><div><div>Li 3</div></div><div><div>Be 4</div></div></div>															<div><div><div>B 5</div></div><div><div>C 6</div></div><div><div>N 7</div></div><div><div>O 8</div></div><div><div>F 9</div></div><div><div>Ne 10</div></div></div>		
<div><div><div>Na 11</div></div><div><div>Mg 12</div></div></div>															<div><div><div>Al 13</div></div><div><div>Si 14</div></div><div><div>P 15</div></div><div><div>S 16</div></div><div><div>Cl 17</div></div><div><div>Ar 18</div></div></div>		
<div><div><div>K 19</div></div><div><div>Ca 20</div></div></div>	<div><div><div>Sc 21</div></div></div>	<div><div><div>Ti 22</div></div></div>	<div><div><div>V 23</div></div></div>	<div><div><div>Cr 24</div></div></div>	<div><div><div>Mn 25</div></div></div>	<div><div><div>Fe 26</div></div></div>	<div><div><div>Co 27</div></div></div>	<div><div><div>Ni 28</div></div></div>	<div><div><div>Cu 29</div></div></div>	<div><div><div>Zn 30</div></div></div>	<div><div><div>Ga 31</div></div></div>	<div><div><div>Ge 32</div></div></div>	<div><div><div>As 33</div></div></div>	<div><div><div>Se 34</div></div></div>	<div><div><div>Br 35</div></div></div>	<div><div><div>Kr 36</div></div></div>	
<div><div><div>Rb 37</div></div></div>	<div><div><div>Sr 38</div></div></div>	<div><div><div>Y 39</div></div></div>	<div><div><div>Zr 40</div></div></div>	<div><div><div>Nb 41</div></div></div>	<div><div><div>Mo 42</div></div></div>	<div><div><div>Tc 43</div></div></div>	<div><div><div>Ru 44</div></div></div>	<div><div><div>Rh 45</div></div></div>	<div><div><div>Pd 46</div></div></div>	<div><div><div>Ag 47</div></div></div>	<div><div><div>Cd 48</div></div></div>	<div><div><div>In 49</div></div></div>	<div><div><div>Sn 50</div></div></div>	<div><div><div>Sb 51</div></div></div>	<div><div><div>Te 52</div></div></div>	<div><div><div>I 53</div></div></div>	<div><div><div>Xe 54</div></div></div>
<div><div><div>Cs 55</div></div></div>	<div><div><div>Ba 56</div></div></div>	<div><div><div></div><div></div></div></div>	<div><div><div>Hf 72</div></div></div>	<div><div><div>Ta 73</div></div></div>	<div><div><div>W 74</div></div></div>	<div><div><div>Re 75</div></div></div>	<div><div><div>Os 76</div></div></div>	<div><div><div>Ir 77</div></div></div>	<div><div><div>Pt 78</div></div></div>	<div><div><div>Au 79</div></div></div>	<div><div><div>Hg 80</div></div></div>	<div><div><div>Tl 81</div></div></div>	<div><div><div>Pb 82</div></div></div>	<div><div><div>Bi 83</div></div></div>	<div><div><div>Po 84</div></div></div>	<div><div><div>At 85</div></div></div>	<div><div><div>Rn 86</div></div></div>
<div><div><div>Fr 87</div></div></div>	<div><div><div>Ra 88</div></div></div>		<div><div><div>La 57</div></div></div>	<div><div><div>Ce 58</div></div></div>	<div><div><div>Pr 59</div></div></div>	<div><div><div>Nd 60</div></div></div>	<div><div><div>Pm 61</div></div></div>	<div><div><div>Sm 62</div></div></div>	<div><div><div>Eu 63</div></div></div>	<div><div><div>Gd 64</div></div></div>	<div><div><div>Tb 65</div></div></div>	<div><div><div>Dy 66</div></div></div>	<div><div><div>Ho 67</div></div></div>	<div><div><div>Er 68</div></div></div>	<div><div><div>Tm 69</div></div></div>	<div><div><div>Yb 70</div></div></div>	<div><div><div>Lu 71</div></div></div>
			<div><div><div>Ac 89</div></div></div>	<div><div><div>Th 90</div></div></div>	<div><div><div>Pa 91</div></div></div>	<div><div><div>U 92</div></div></div>	<div><div><div>Np 93</div></div></div>	<div><div><div>Pu 94</div></div></div>	<div><div><div>Am 95</div></div></div>	<div><div><div>Cm 96</div></div></div>	<div><div><div>Bk 97</div></div></div>	<div><div><div>Cf 98</div></div></div>	<div><div><div>Es 99</div></div></div>	<div><div><div>Fm 100</div></div></div>	<div><div><div>Md 101</div></div></div>	<div><div><div>No 102</div></div></div>	<div><div><div>Lr 103</div></div></div>

# Clasificación de SNe



Consultas



# Recordando... Secuencia Principal

**al terminar de quemar H en el corazón la estrella se**

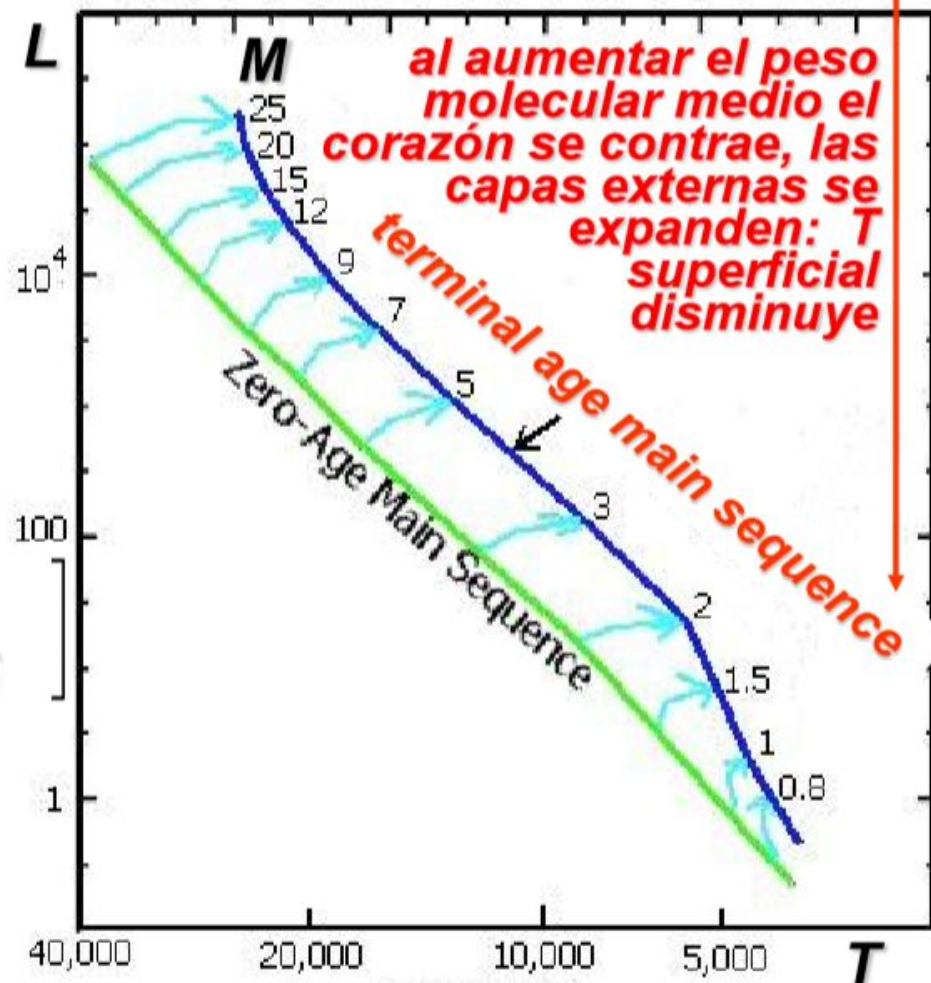
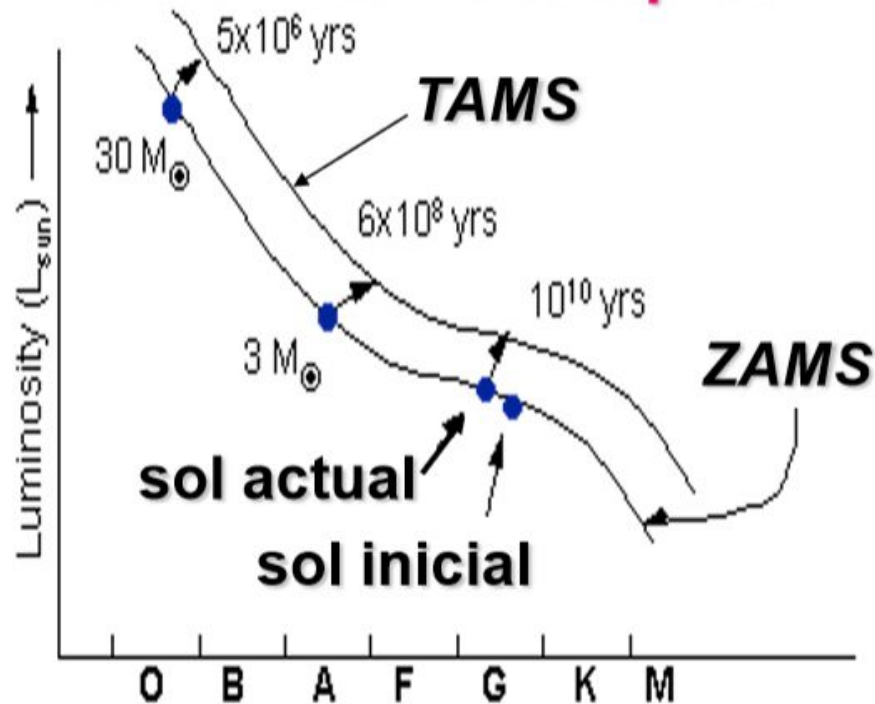
**tiempo de evolución de la ZAMS a la TAMS**  
**= tiempo de vida en la secuencia principal**

**ubica sobre la**  
**TAMS**

**de la ZAMS a la TAMS**  
**gravedad=presión**



**depende de la masa!!**  
**las estrellas mas masivas**  
**evolucionan mas rápido**



# Resumiendo, etapas principales de evolución

## Secuencia principal

- quema de H en el núcleo

## Rama de gigante roja (RGB)

- quema de H en una capa.
- envoltura muy convectiva (primer dragado)
- $M < \sim 2.25 M_{\odot}$  finaliza con flash del núcleo de He (pérdida de masa)

## Rama horizontal (HB)

- quema de He en el núcleo, H en una capa

# Resumiendo, etapas principales de evolución

## Rama asintótica de gigante temprana (Early AGB)

- quema **He en capa** (capa de H apagada o ineficiente)
- envoltura muy convectiva (**segundo dragado** en estrellas masivas)

## Pulsos termales en la (TPAGB)

- Quema **He y H en capas** que se activan/inactivan
- Flashes de He en capas □ **Pulsos** □ **Pérdida de masa**
- envoltura convectiva penetra a zona intercapas (**tercer dragado**)

...y quema de elementos más pesados, dependiendo de la masa de la estrella

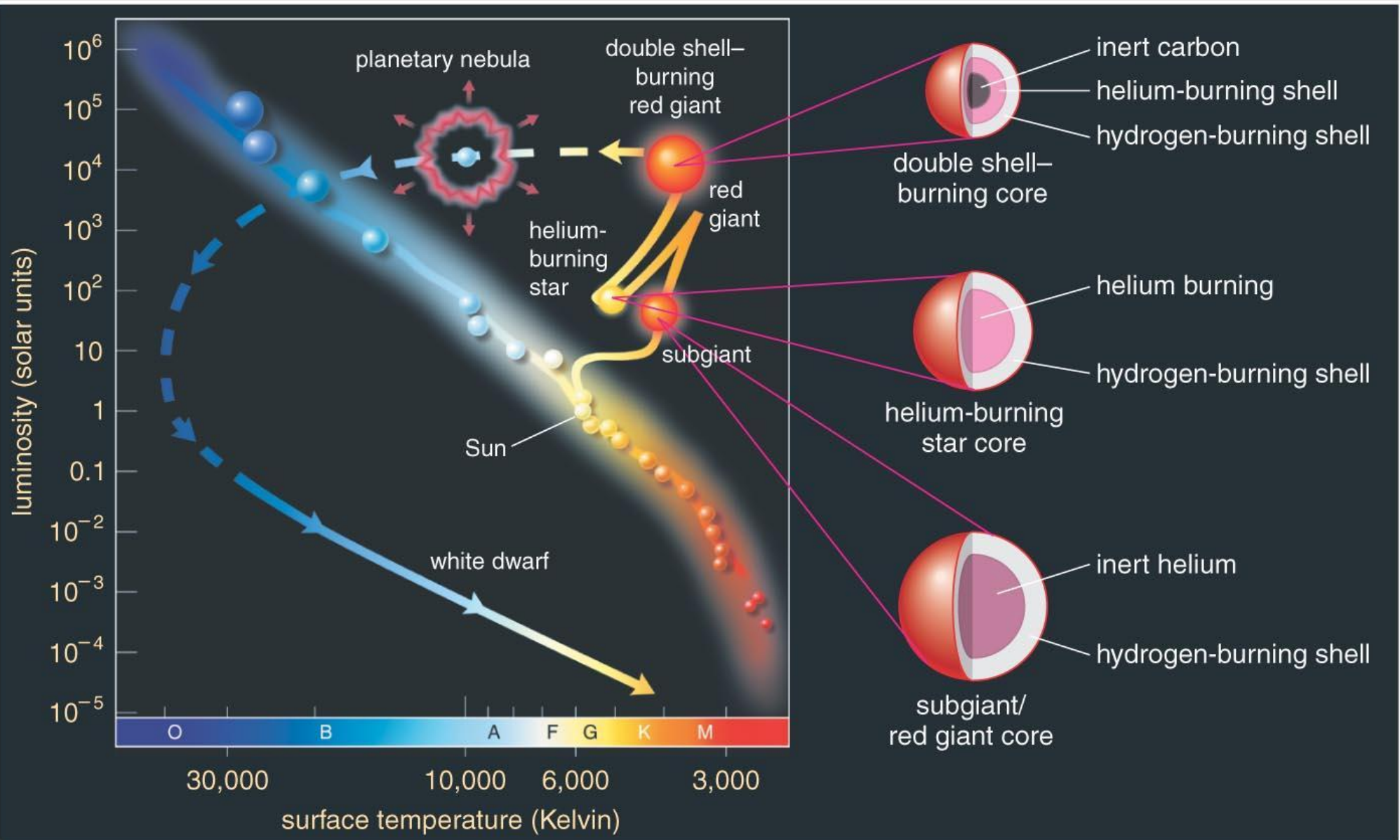
# Resumiendo, etapas principales de evolución

## Nebulosa planetaria

- Envoltura expulsada lentamente al medio interestelar
- Ionizada por radiación UV que emite el núcleo
  - líneas de emisión
- Tarda unos  $\sim 10^5$  años en disiparse

## Enana blanca

- Materia muy condensada
- No hay reacciones nucleares
- Se va enfriando para siempre

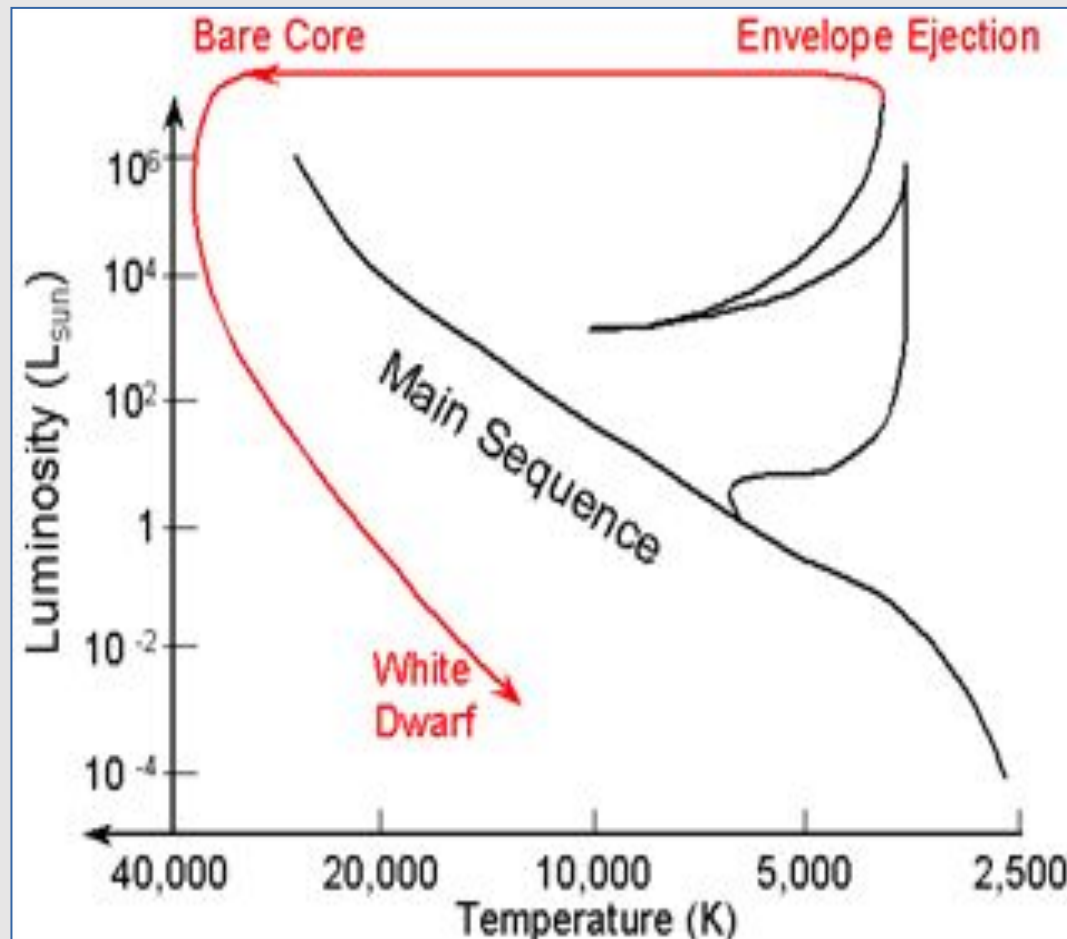




# Expulsión de la Envoltura

## Nebulosa Planetaria y Enana Blanca

La envoltura se disipa ( $\sim 10000$  años), y el núcleo de C y O desnudo se enfría convirtiéndose en una **enana blanca**.



# Evolución después de la SP

