

# Origen Cósmico de los Elementos Químicos

**Dra. Nayra Rodríguez Eugenio**

Unidad de Comunicación y Cultura Científica  
Instituto de **A**strofísica de **C**anarias



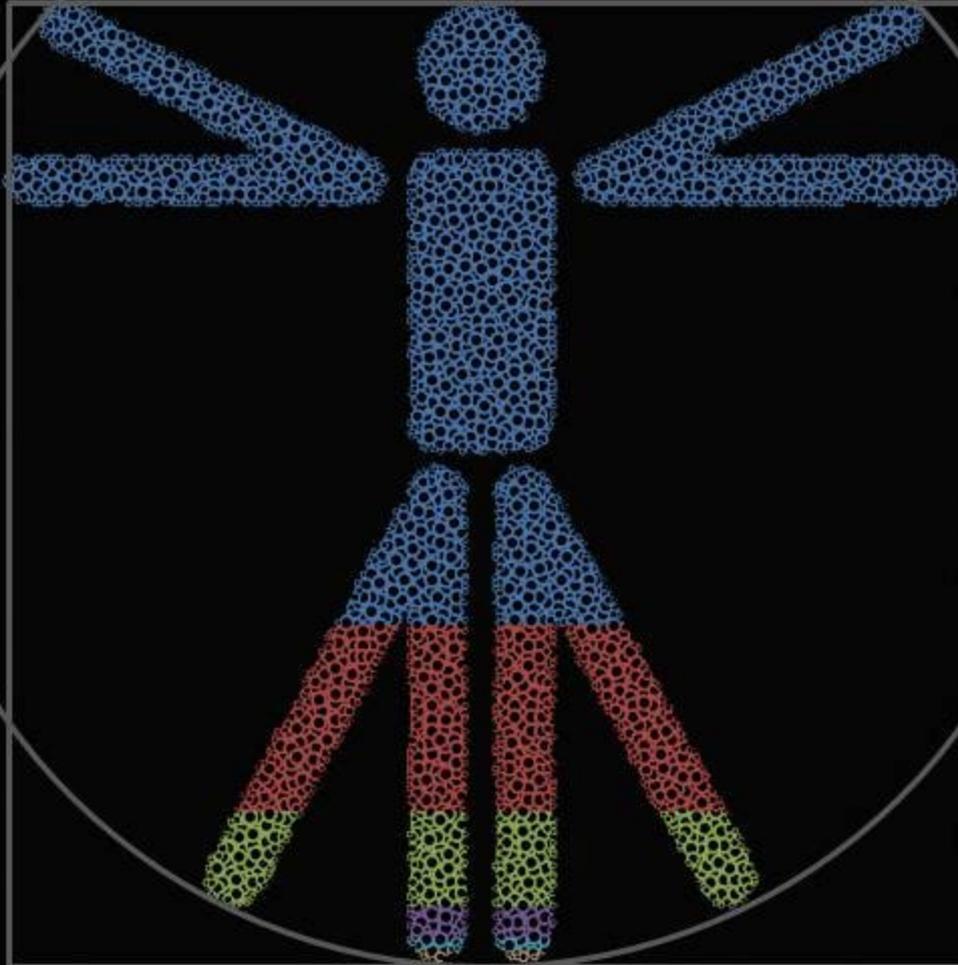
EXCELENCIA  
SEVERO  
OCHOA

¿Cuál es nuestra conexión con el Cosmos?

Todos los seres vivos de este planeta estamos formados por unos 70 elementos químicos = **bioelementos**



# Composición Química del Homo Sapiens



Oxígeno (65%)

Carbono (19%)

Hidrógeno (10%)

Nitrógeno (3%)

> 2%: Calcio Fósforo Potasio Cloro Azufre Sodio Magnesio Yodo Hierro Zinc

# La tabla periódica de los elementos químicos



## ¡Cumple 150 años!



1 H Hydrogeno																	2 He Helio														
3 Li Litio	4 Be Berilio																	5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Flúor	10 Ne Neón								
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio																	13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón								
19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallo	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón														
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Itrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón														
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tantalio	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Platino	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatato	86 Rn Radón														
87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassio	109 Mt Meitnerio	110 Ds Darmstadtio	111 Rg Roentgenio	112 Cn Copernicio	113 Nh Nihonio	114 Fl Flervio	115 Mc Moscovio	116 Lv Livermorio	117 Ts Tenésio	118 Og Oganesón														
																		58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Iterbio	71 Lu Lutecio
																		90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Laurencio



# La tabla periódica de los elementos químicos

Los **92 elementos naturales** que encontramos en la Tierra también **están presentes en el Universo**

1 H Hydrogeno																	2 He Helio														
3 Li Litio	4 Be Berilio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Flúor	10 Ne Neón														
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón														
19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallo	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón														
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Itrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón														
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tantalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Platino	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatato	86 Rn Radón														
87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassio	109 Mt Meitnerio	110 Ds Darmstadtio	111 Rg Roentgenio	112 Cn Copernicio	113 Nh Nihonio	114 Fl Flervio	115 Mc Moscovio	116 Lv Livermorio	117 Ts Tenésio	118 Og Oganesón														
																		58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Iterbio	71 Lu Lutecio
																		90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Laurencio

# La tabla periódica de los elementos químicos



## ¿Cuál es su origen?

1 H Hydrogeno																	2 He Helio	
3 Li Litio	4 Be Berilio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Flúor	10 Ne Neón	
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón	
19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallo	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón	
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Itrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón	
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tantalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Platino	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatato	86 Rn Radón	
87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassio	109 Mt Meitnerio	110 Ds Darmstadtio	111 Rg Roentgenio	112 Cn Copernicio	113 Nh Nihonio	114 Fl Flervio	115 Mc Moscovio	116 Lv Livermorio	117 Ts Tenésio	118 Og Oganesón	
			58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Iterbio	71 Lu Lutecio		
			90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Laurencio		

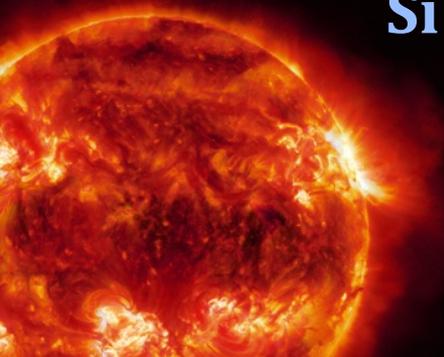
# La Tierra, *anomalía* química

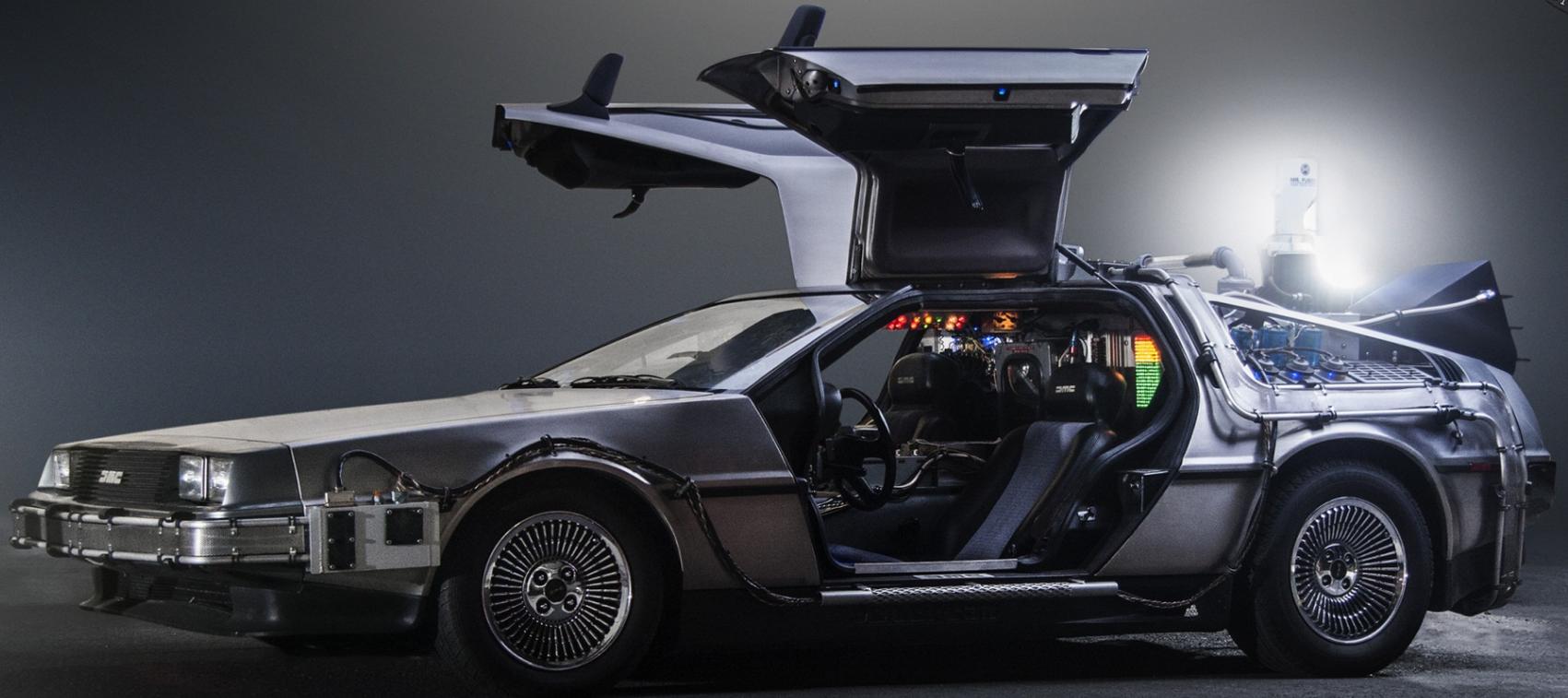
Elementos más abundantes en la vecindad del **Sol**

**H** (74%)  
**He** (25%)  
**O** (0.6%)  
**C** (0.3%)  
**Ne** (0.1%)  
**N** (0.08%)  
**Mg** (0.08%)  
**Si** (0.07%)

Elementos más abundantes en la **Tierra**

**Fe** (32%)  
**O** (30%)  
**Si** (15%)  
**Mg** (14%)  
**S** (3%)  
**Ni** (2%)  
**Ca** (1.5%)  
**Al** (1.4%)



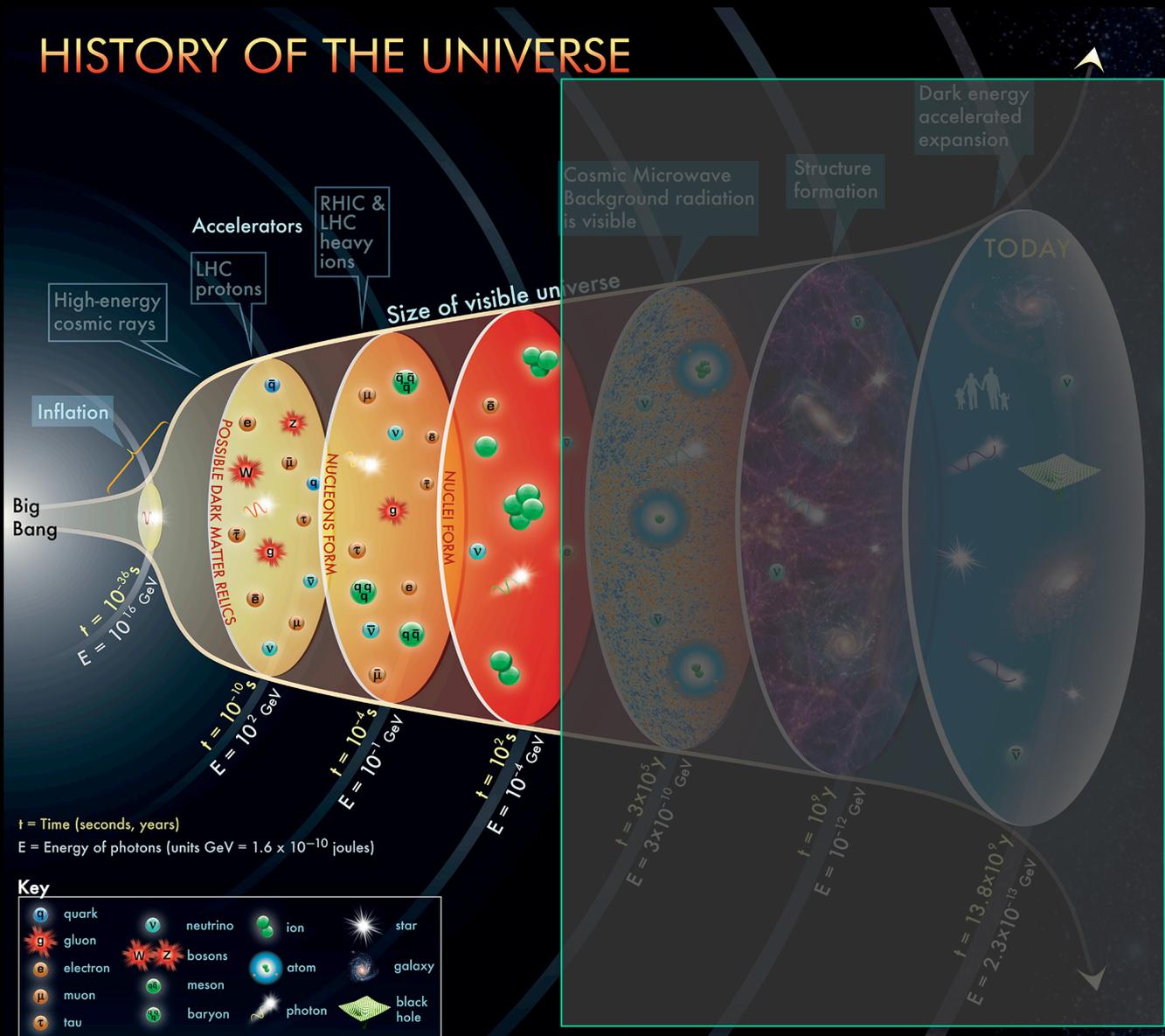


By JMortonPhoto.com & OtoGodfrey.com

Hagamos un viaje de 13.800 millones de años...

# Nucleosíntesis primordial en el *Big Bang*

## HISTORY OF THE UNIVERSE



Tiempo desde el Big Bang:

$10^{-12}$  s -  $10^{-6}$  s:  
quarks, electrones y neutrinos

$10^{-6}$  s - 10 s:  
protones, neutrones, electrones, neutrinos

10 s – 20 min:  
núcleos ligeros  
> 10 s:  $D(^2H)$   
> 100 s:  $^3He$ ,  $^7Li$  y  $^7Be$

The concept for the above figure originated in a 1986 paper by Michael Turner.

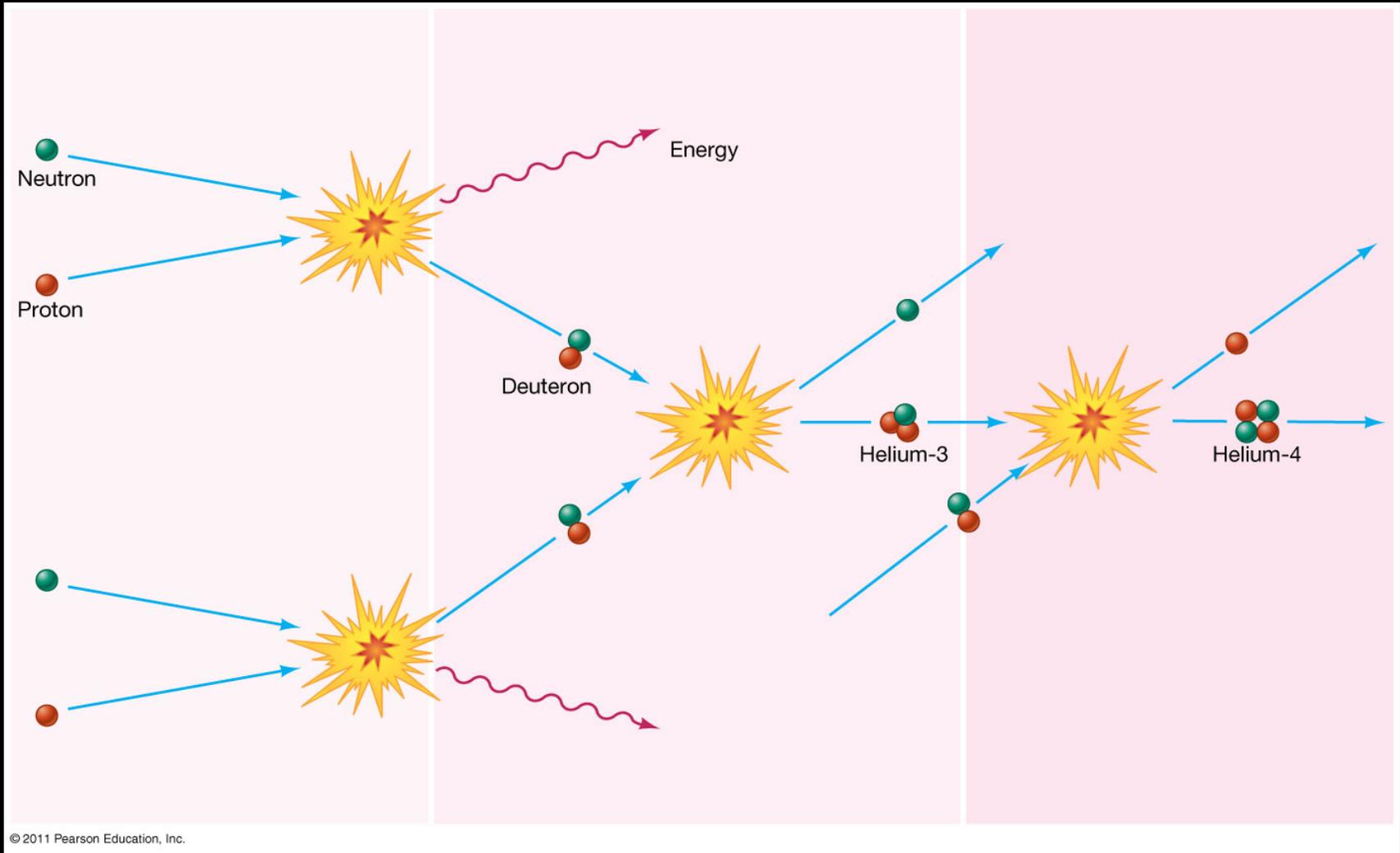


# ¿Cómo se han originado los elementos químicos en el Universo?

## Procesos principales:

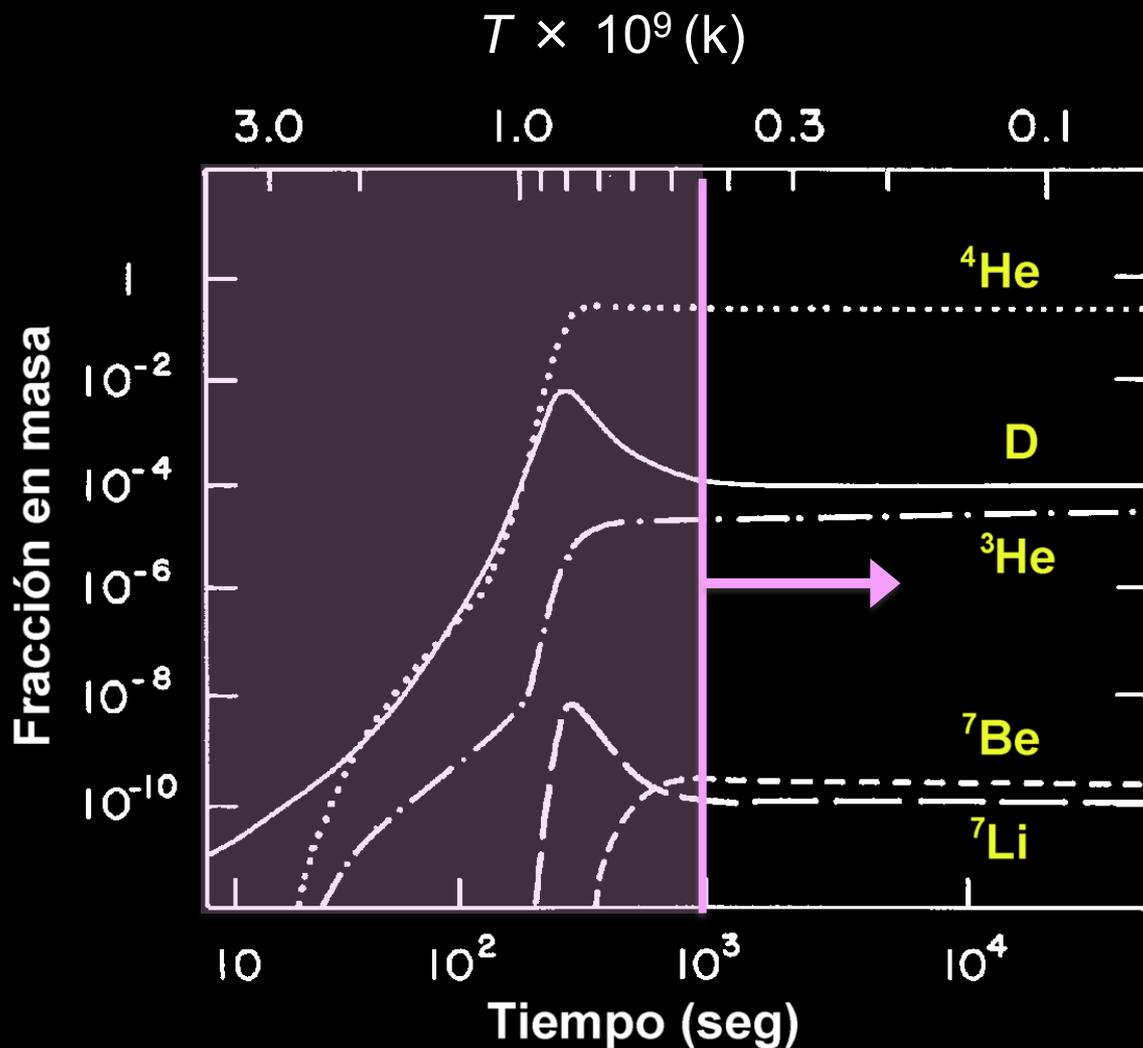
- **Nucleosíntesis primordial** (*Big Bang*)

# Nucleosíntesis primordial en el *Big Bang*



Primeras REACCIONES NUCLEARES DE FUSIÓN

# Nucleosíntesis primordial en el *Big Bang*



A los 1000 segundos la nucleosíntesis primordial se detiene

Abundancias relativas en masa después de 20 minutos:

- 75% de  $^1\text{H}$
- 25% de  $^4\text{He}$
- 0,01% de  $\text{D}(^2\text{H})$
- 0,01% de  $^3\text{He}$
- trazas de  $^7\text{Li}$  y  $^7\text{Be}$



# ¿Cómo se han originado los elementos químicos en el Universo?

## Procesos principales:

- **Nucleosíntesis primordial** (*Big Bang*)
- **Nucleosíntesis estelar** en interiores estelares

Quando el Universo tenía 400 millones de años  
se forman las primeras estrellas



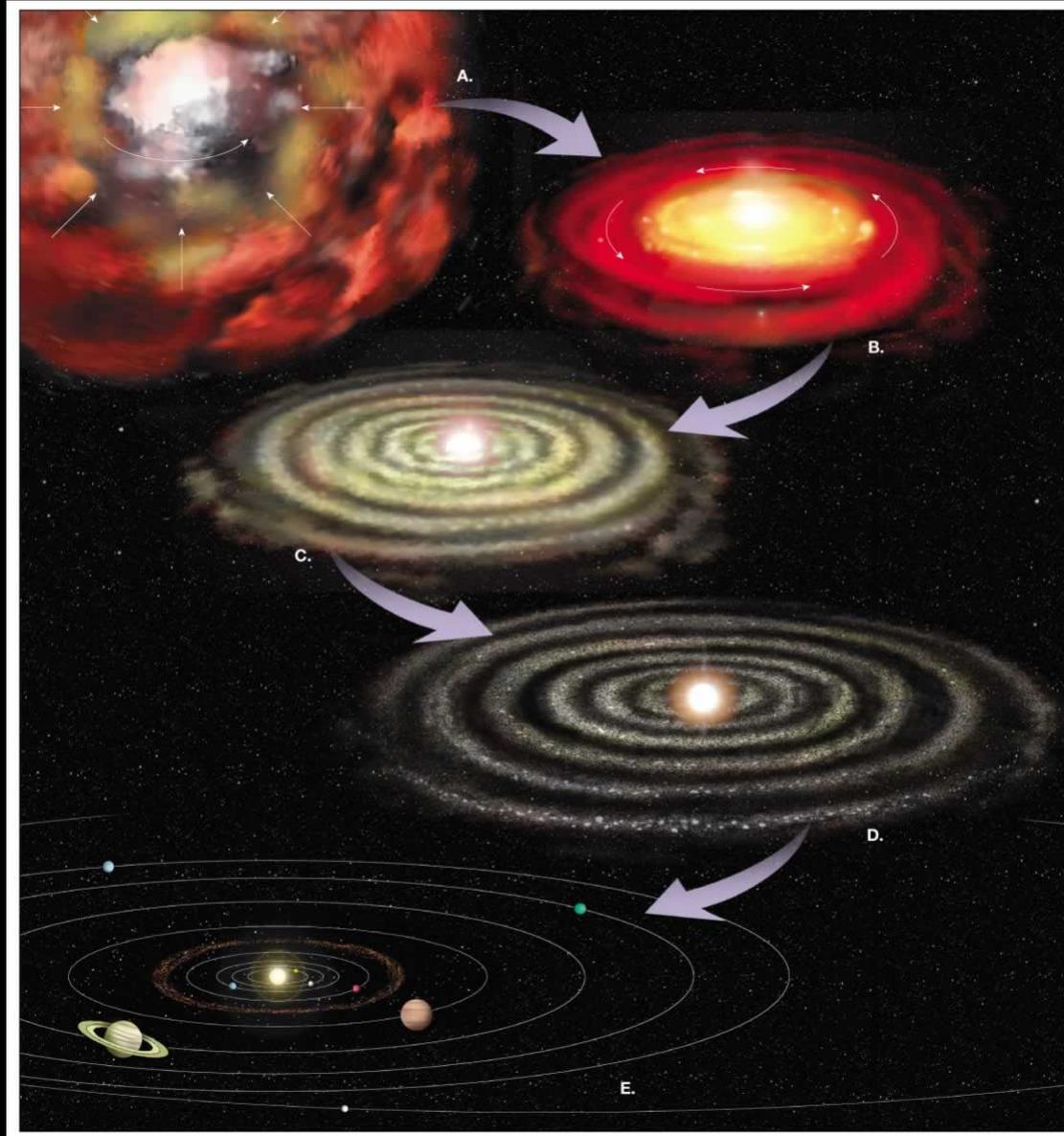
# Nacimiento de estrellas: nubes moleculares



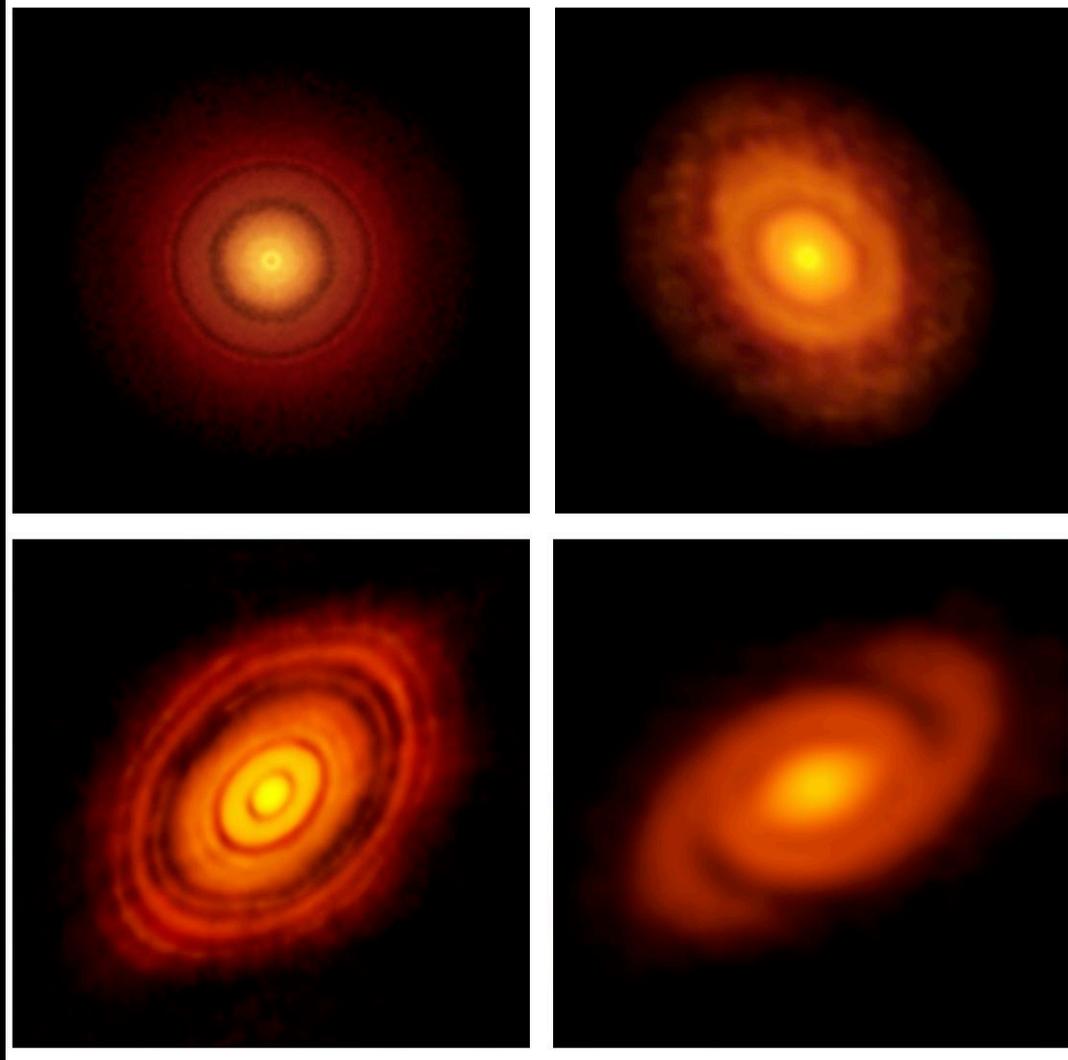
- densas regiones de gas y polvo
- muy frías (cientos de grados bajo de cero)
- formadas principalmente por H y He



# Nacimiento de estrellas : **protoestrella**



# Nacimiento de estrellas: discos protoplanetarios

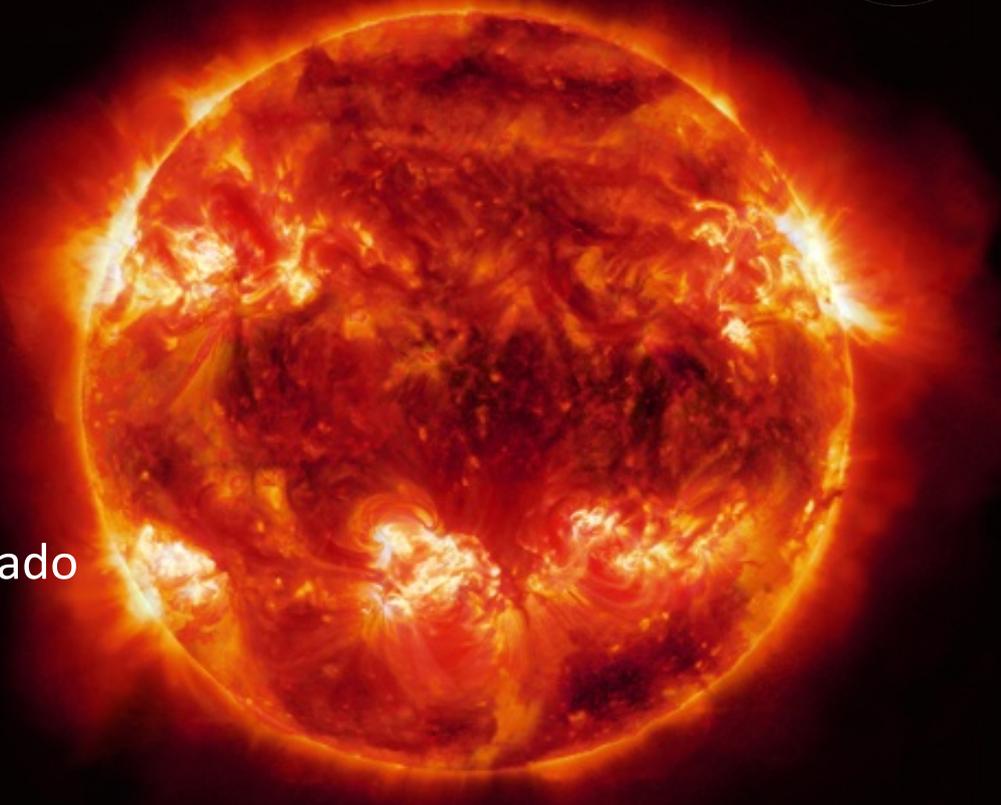


ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)

# Estrellas: fábricas de elementos químicos

En los interiores estelares  
se producen  
**reacciones nucleares de fusión**

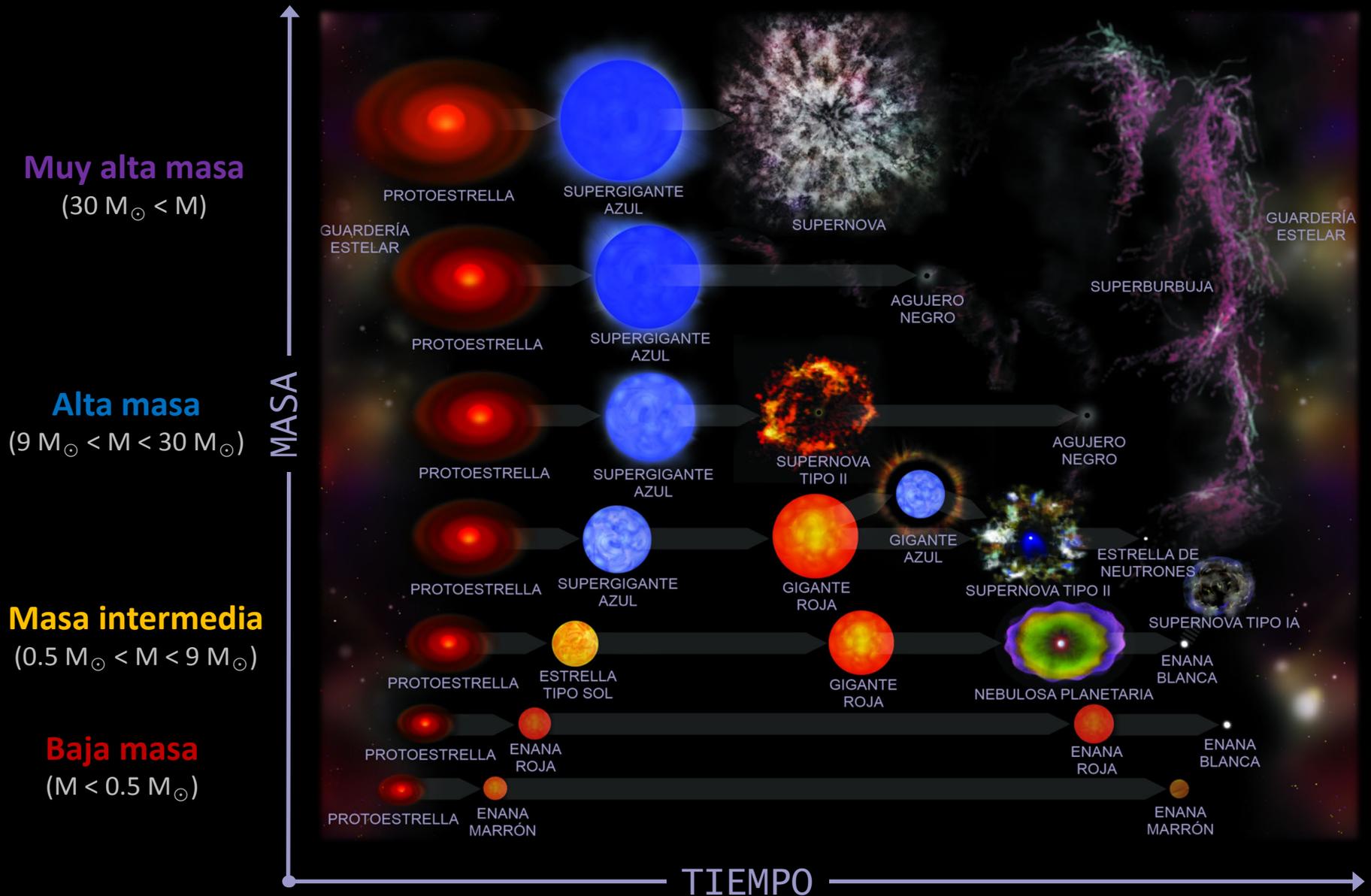
núcleo ligero →  
núcleo ligero →  núcleo más pesado  
+ ENERGÍA



Para que se produzca una reacción dada debe alcanzarse una  
**presión y temperatura** determinada en el núcleo

La cantidad y el tipo de elementos químicos que puede producir  
una estrella depende sobre todo de **su masa**

# Las estrellas evolucionan según su masa



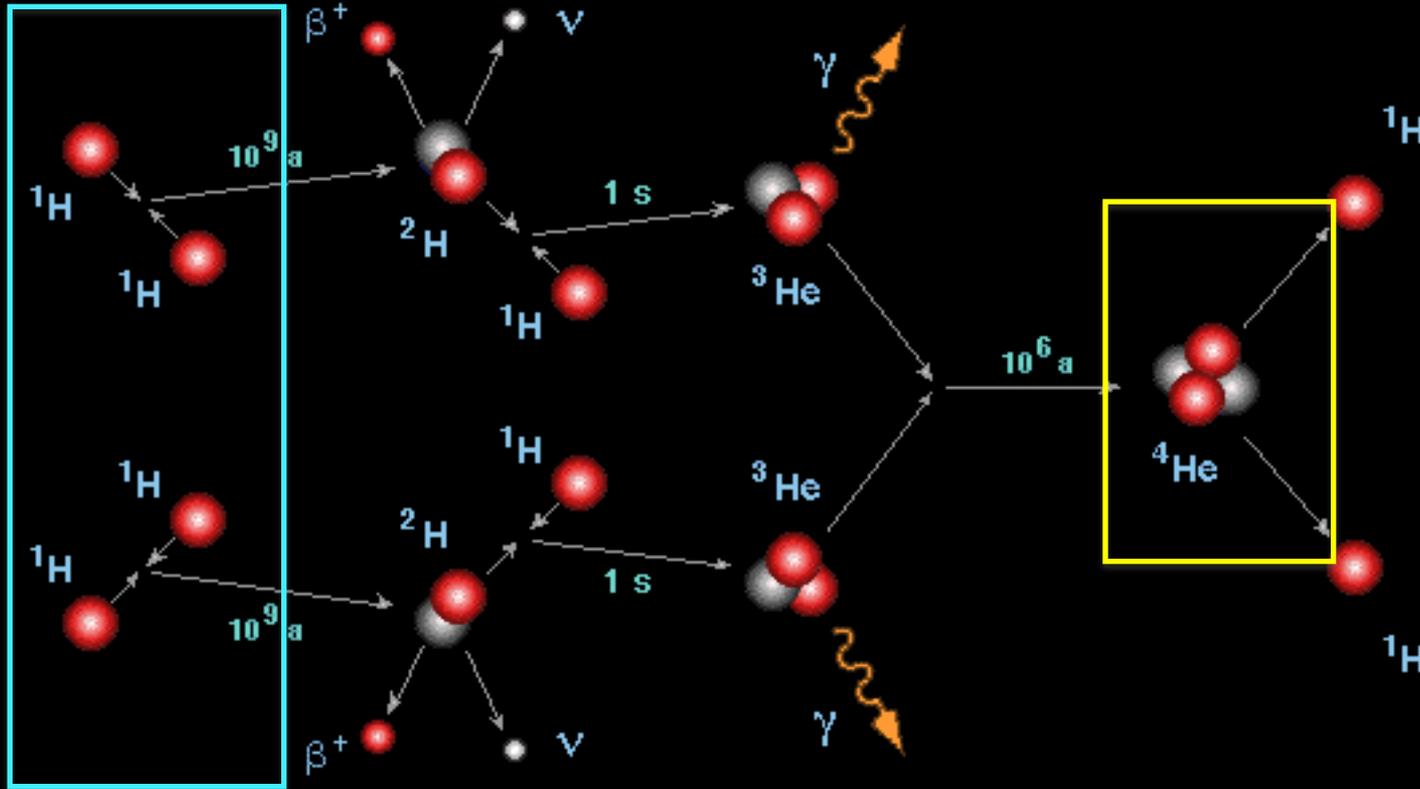
# Nucleosíntesis estelar: combustión del H

Las estrellas de cualquier masa  $\geq 0.1M_{\odot}$  pasan la mayor parte de su vida quemando H

4 protones



1 Helio

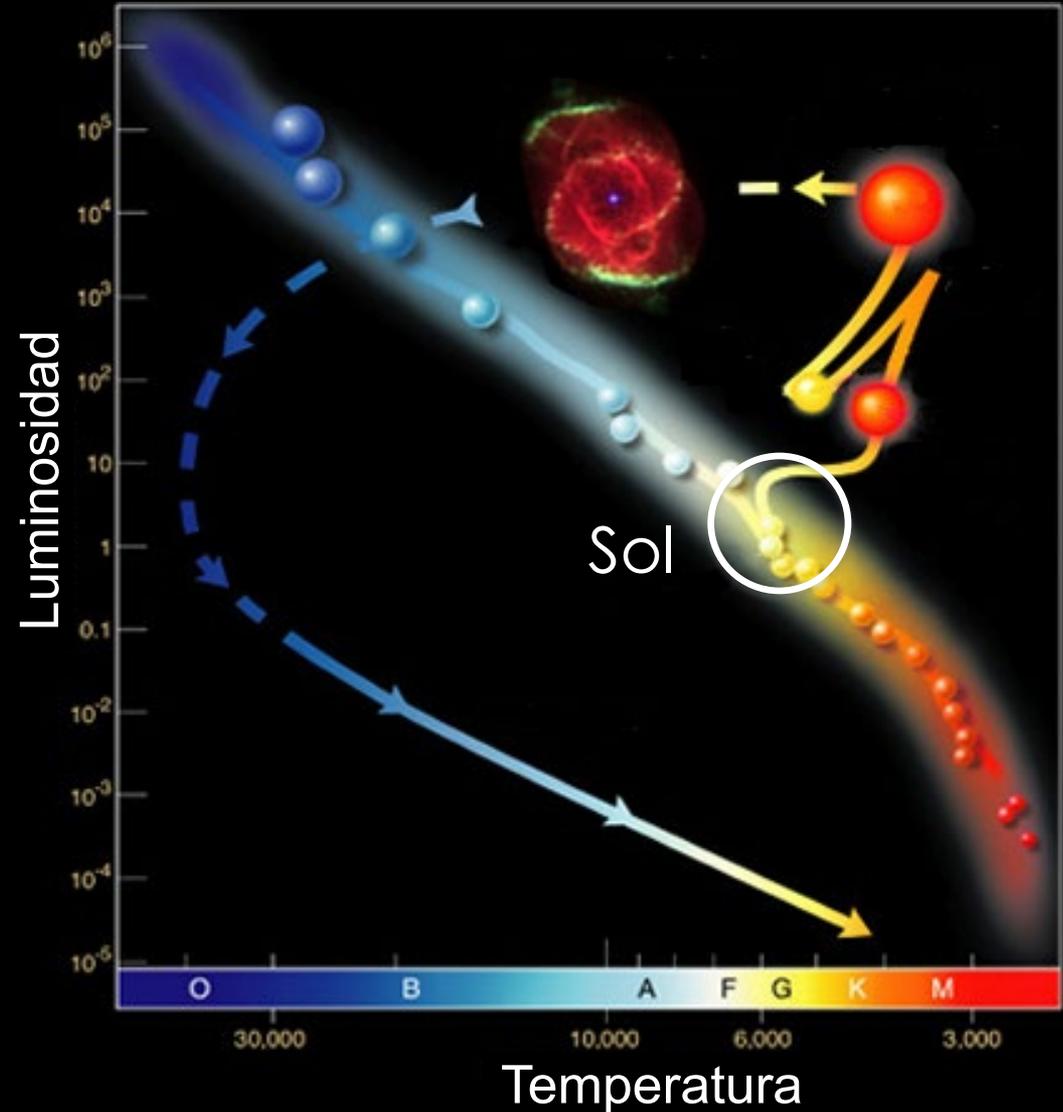


# Nucleosíntesis estelar: combustión del H

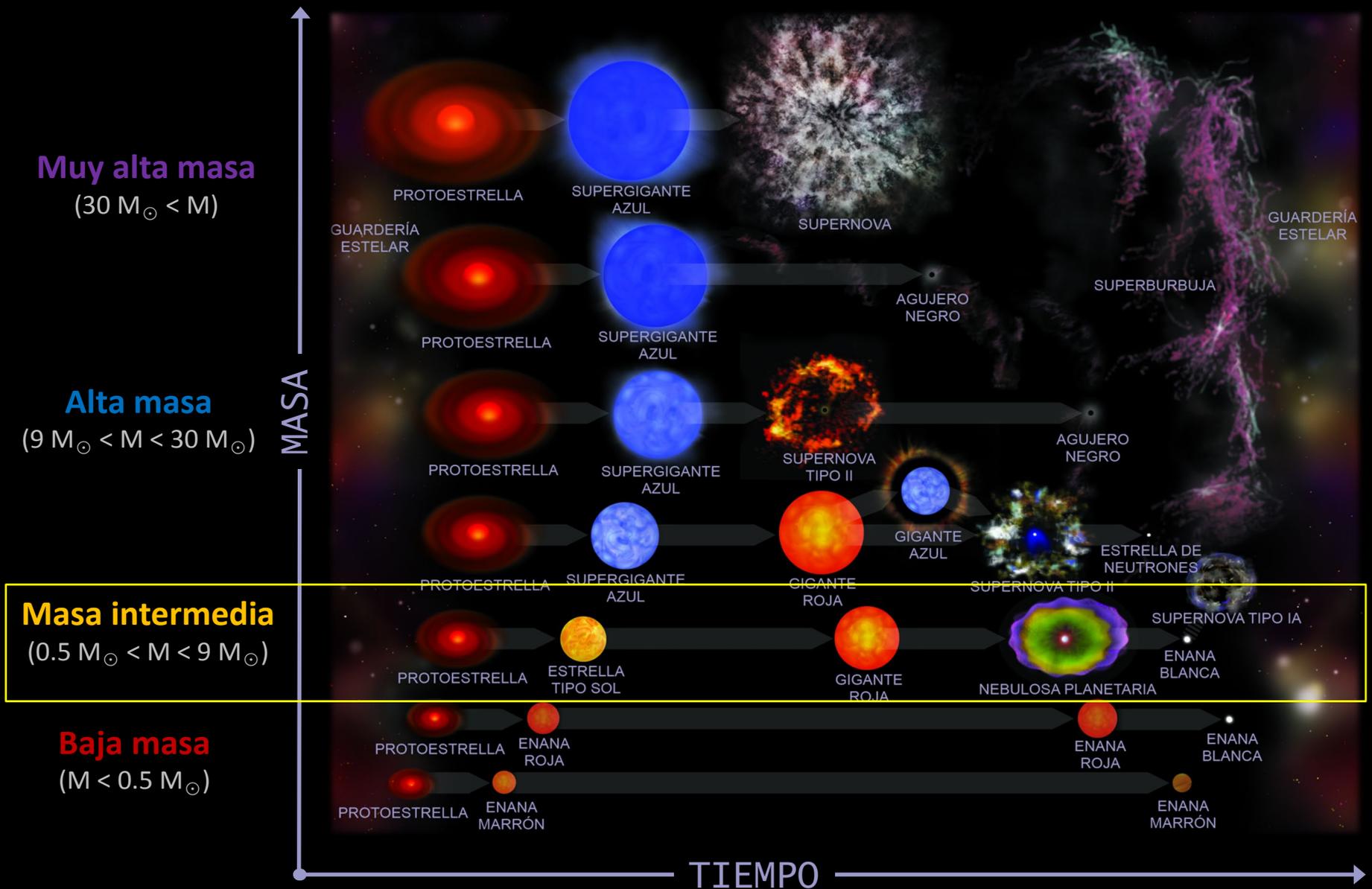
## Diagrama de Hertzsprung - Russell

Etapa denominada:

**Secuencia Principal**



# Las estrellas evolucionan según su masa



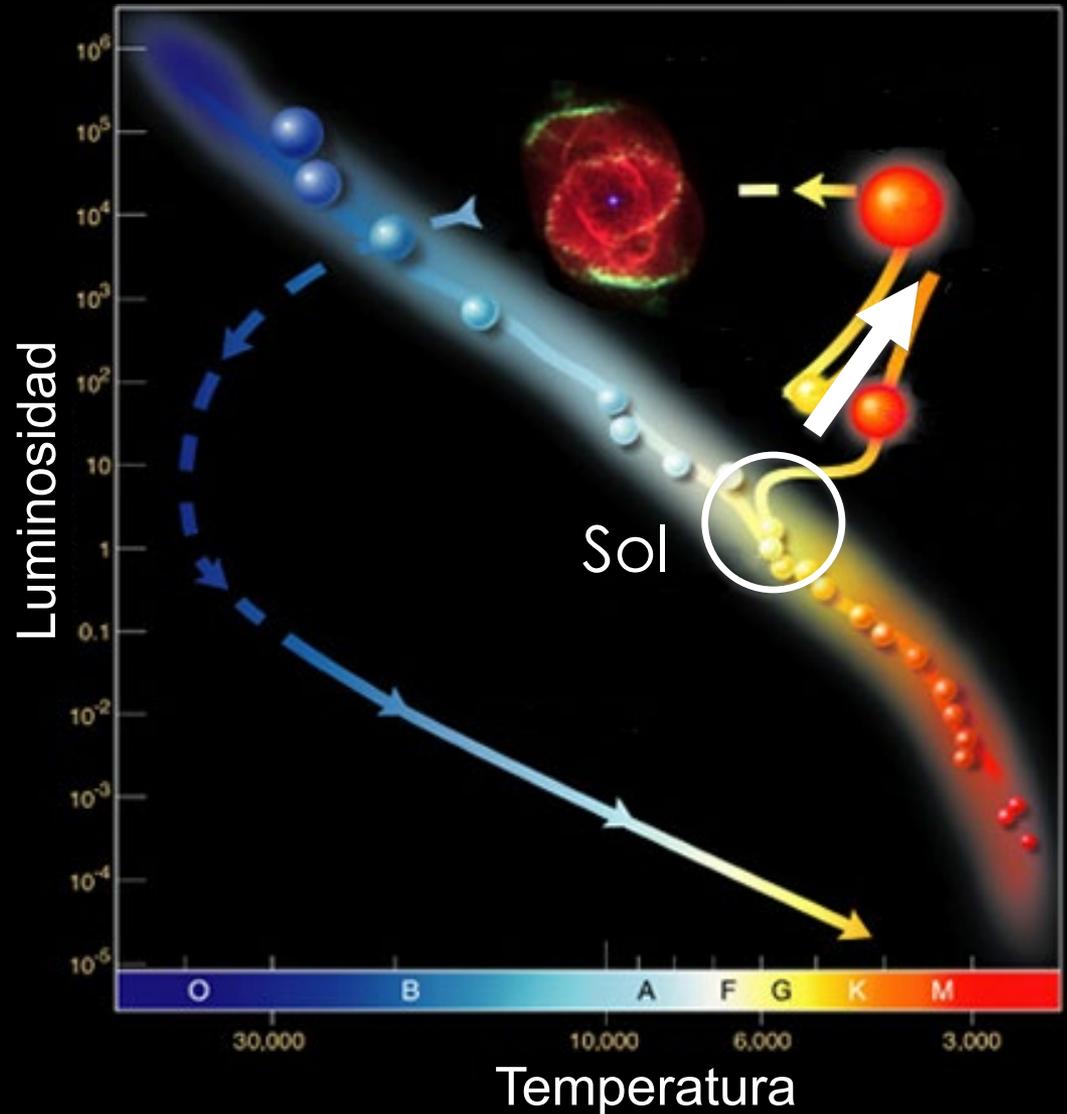
# Nucleosíntesis estelar: combustión del He

Estrellas con  $M > 0.5 M_{\odot}$

Cuando el H se agota en el núcleo, éste se contrae y calienta hasta que empieza a quemar He

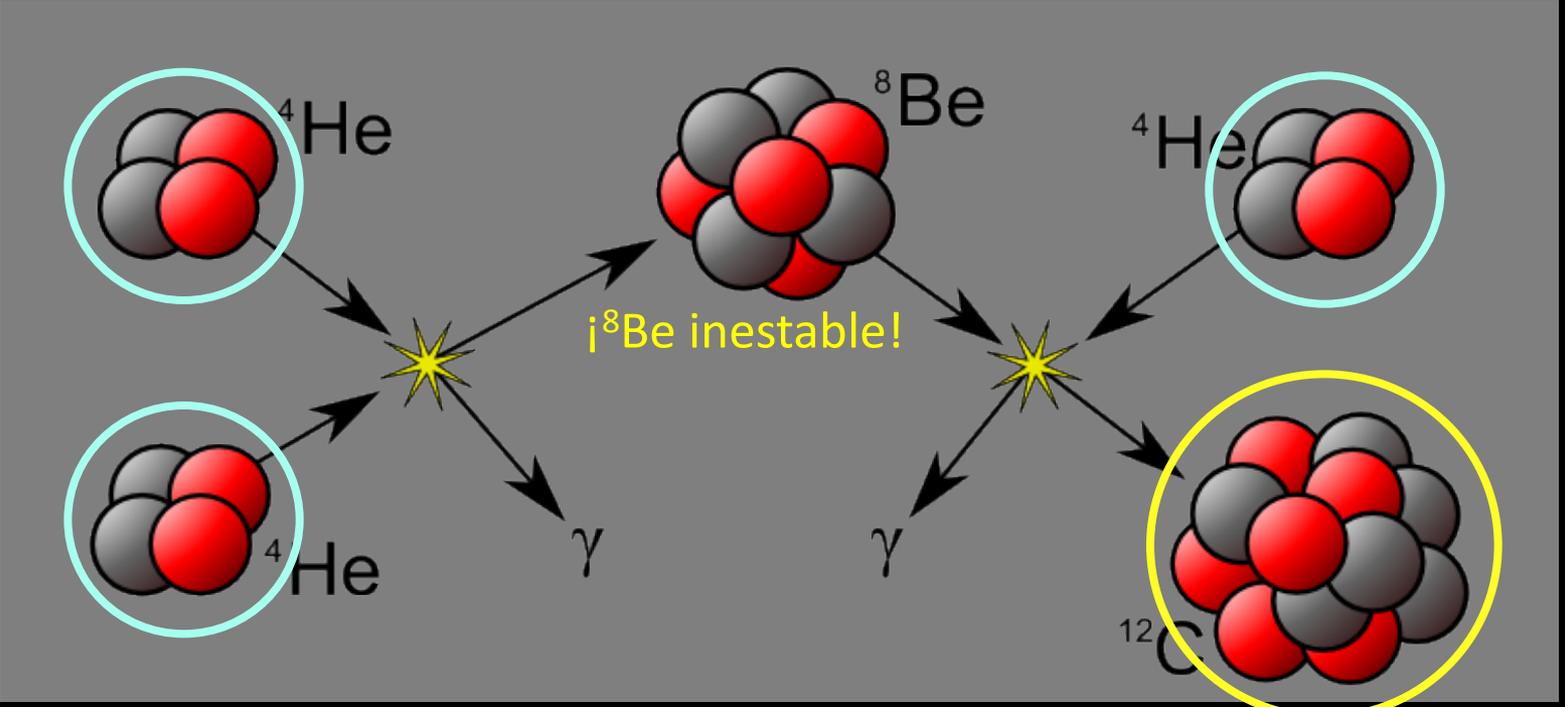
La estrella asciende por la rama de **Gigantes Rojas**

Diagrama de Hertzsprung - Russell



# Nucleosíntesis estelar: combustión del He

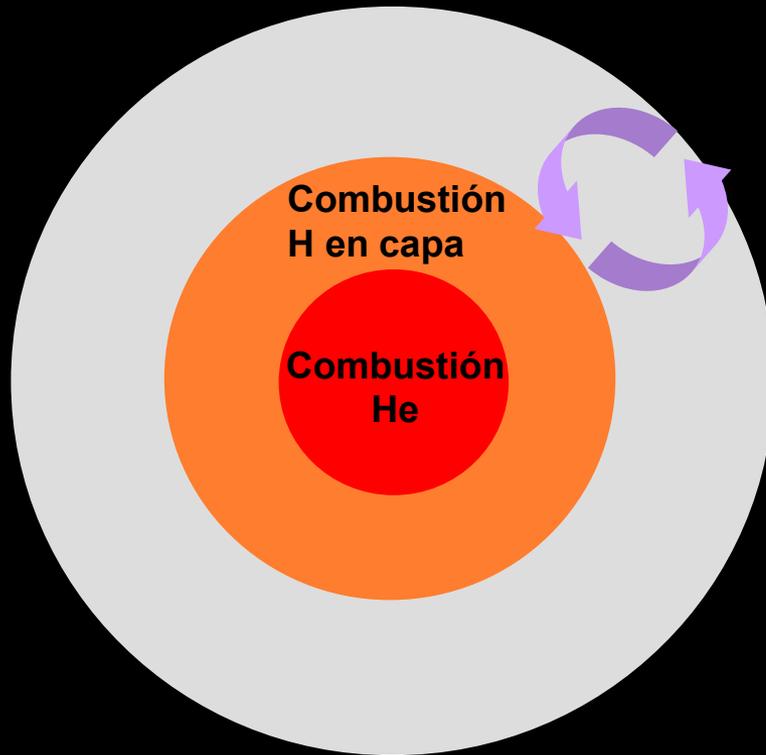
## Reacciones triple-alfa



Produce C

# Nucleosíntesis estelar: combustión del He

Estructura interna de una Gigante Roja  
de una estrella con  $1 M_{\text{sol}} < M < 9 M_{\text{sol}}$



Convección lleva material  
procesado a la superficie

Queman H y He →  
→ Producen principalmente:  
**C, N, O**

# Nucleosíntesis de elementos S (captura lenta de neutrones)

**Gigantes rojas** de estrellas de masa intermedia ( $2-8 M_{\text{Sol}}$ )

Alquimistas del Universo

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.992	34 Se Selenium 78.09	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.80
37 Rb Rubidium 84.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [208.982]	85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium [284]	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium [288]	116 Lv Livermorium [293]	117 Uus Ununseptium [294]	118 Uuo Ununoctium [294]

Desde el **Ga** hasta el **Pb** y **Bi**

57 La Lanthanum 138.906	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.966	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]

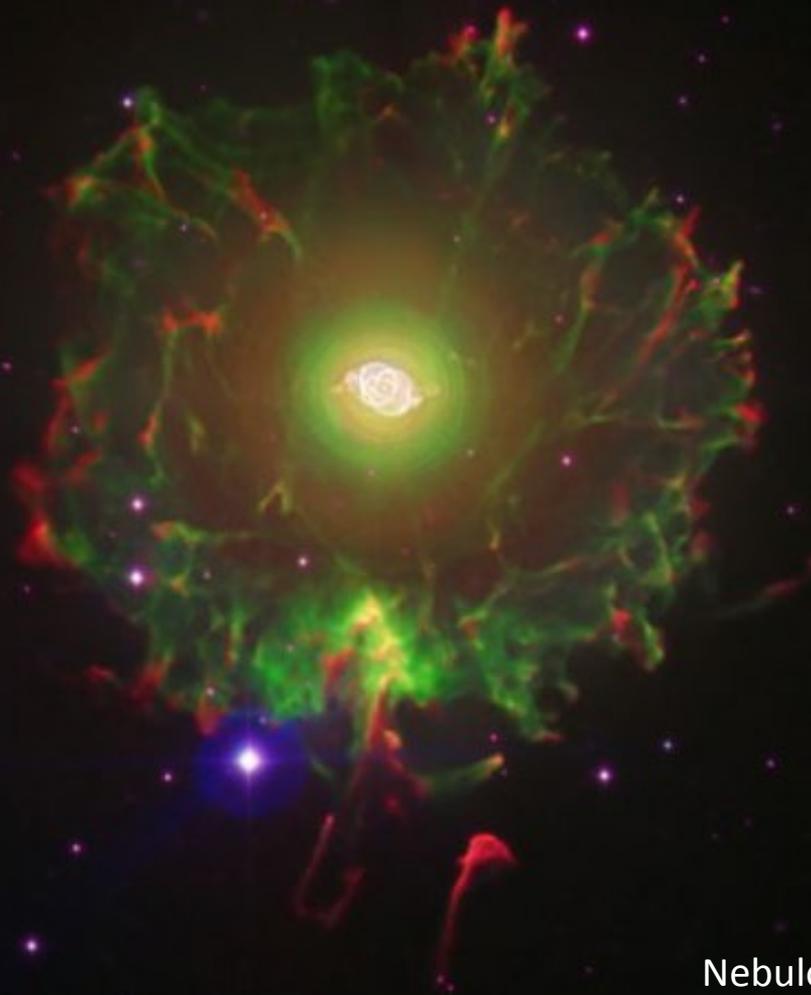
# Estrellas de masa intermedia: $1 M_{\text{Sol}} < M < 9 M_{\text{Sol}}$



# Estrellas de masa intermedia: $1 M_{\text{sol}} < M < 9 M_{\text{sol}}$



Queman H y He  $\rightarrow$  **C, N, O y elementos S**

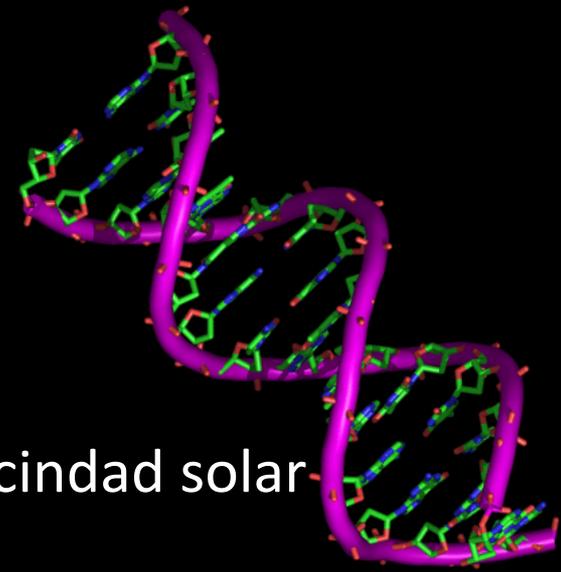


Nebulosa Planetaria:  
Nebulosa del Ojo de Gato

# Carbono y vida en el Universo

## Un elemento único

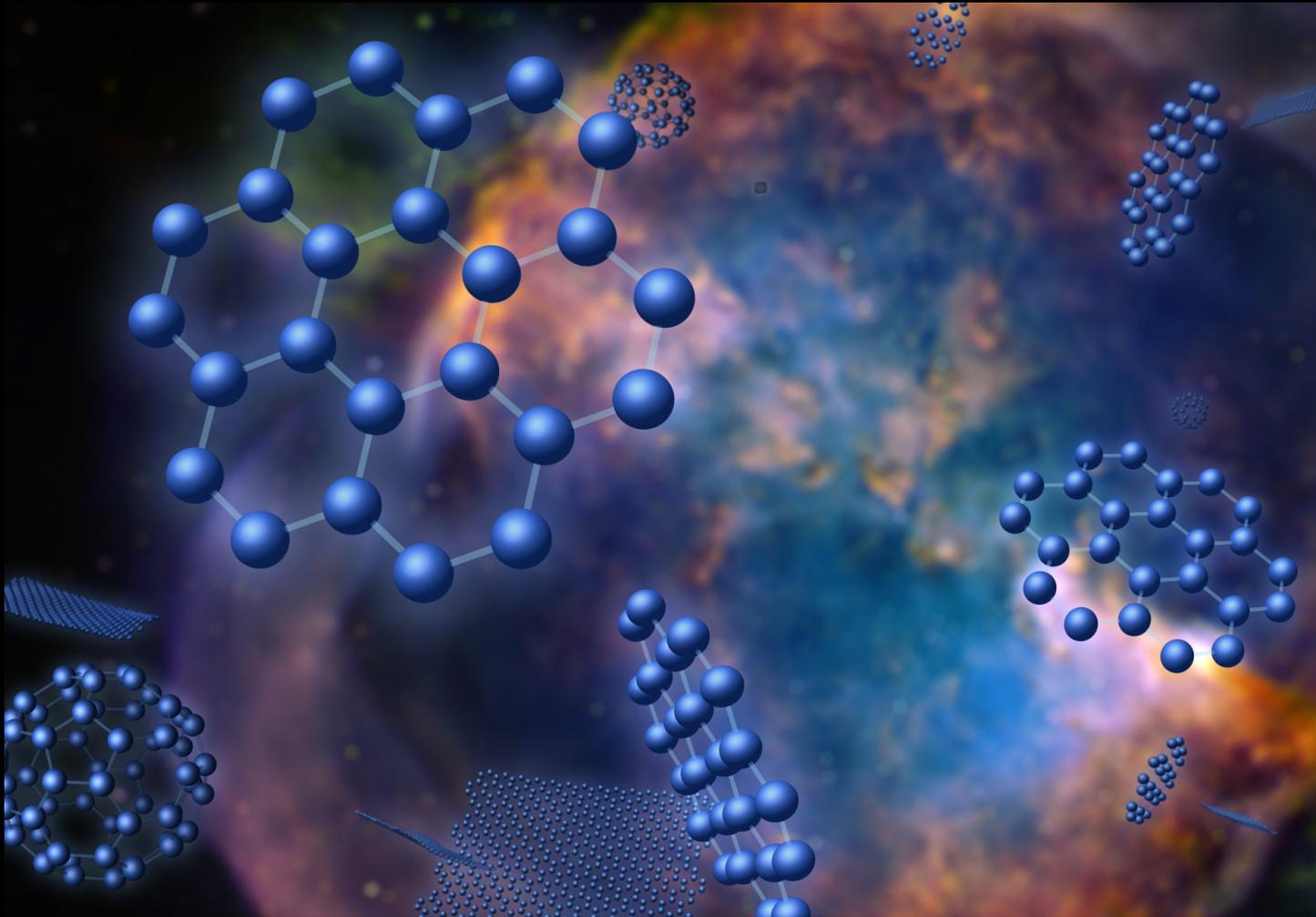
- Cuarto elemento más abundante en la vecindad solar
- Pueden generar una **variedad sorprendente de estructuras**
- Elemento fundamental de la **materia viva**
- La mayor parte de las **moléculas cósmicas son orgánicas**



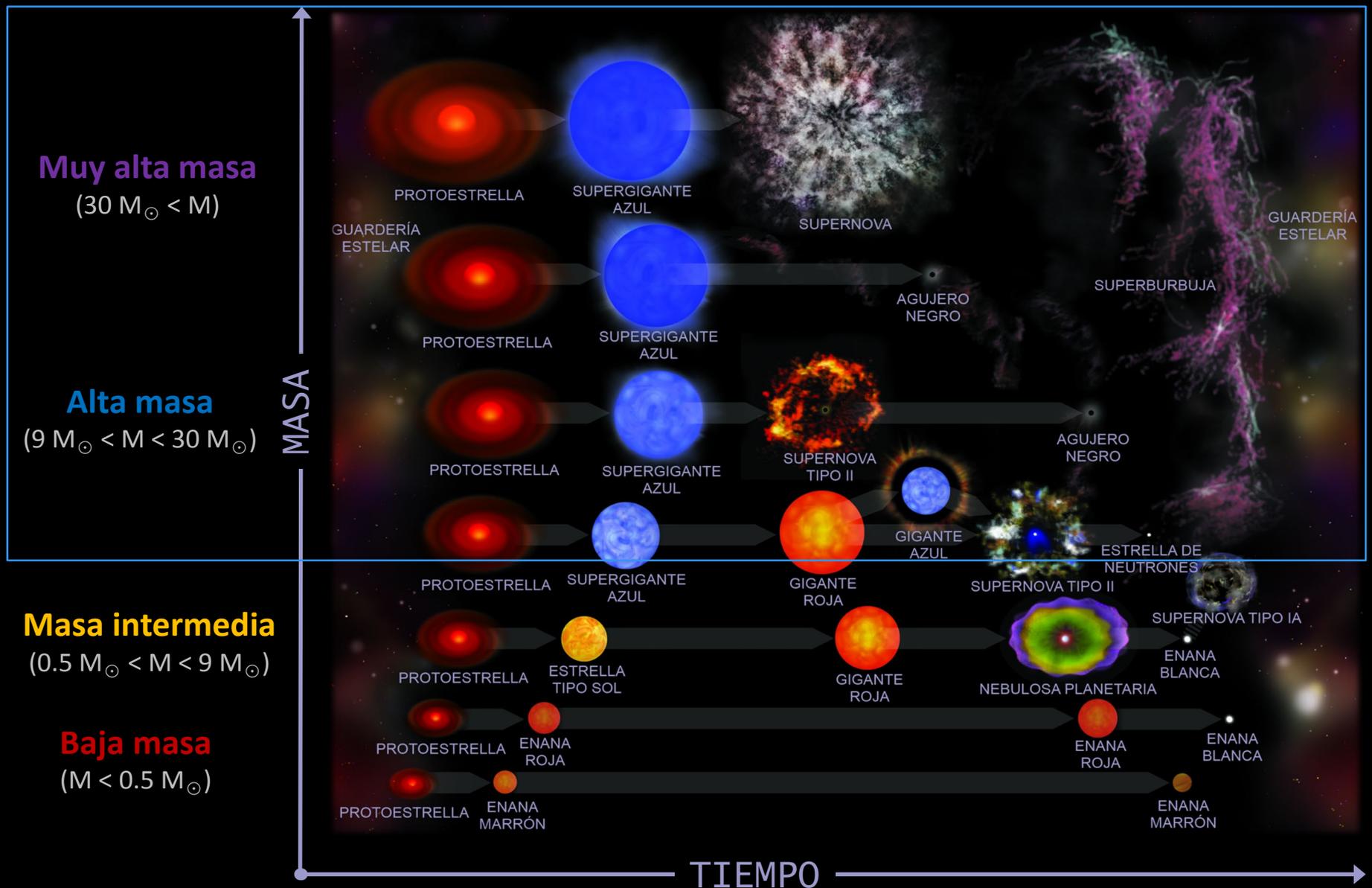
# Carbono y vida en el Universo



Moléculas orgánicas (compuestos complejos de C) se encuentran alrededor de nebulosas planetarias

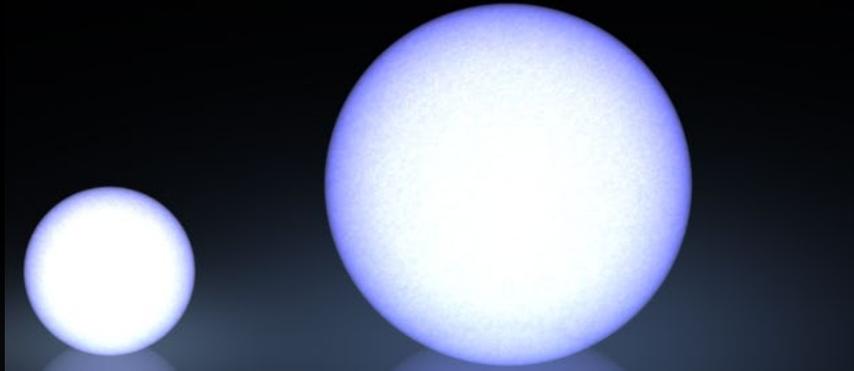


# Las estrellas evolucionan según su masa

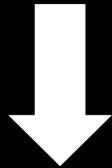


# Nucleosíntesis estelar: estrellas masivas

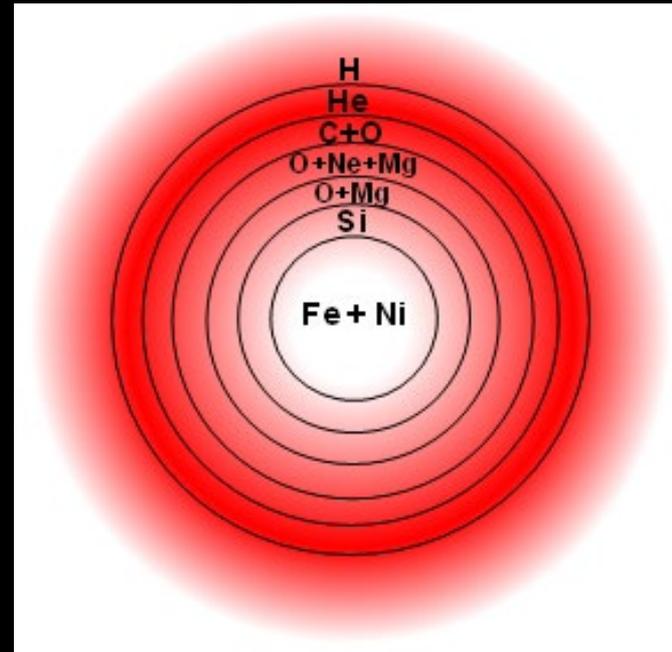
$$M_* > 9 M_{\text{Sol}}$$



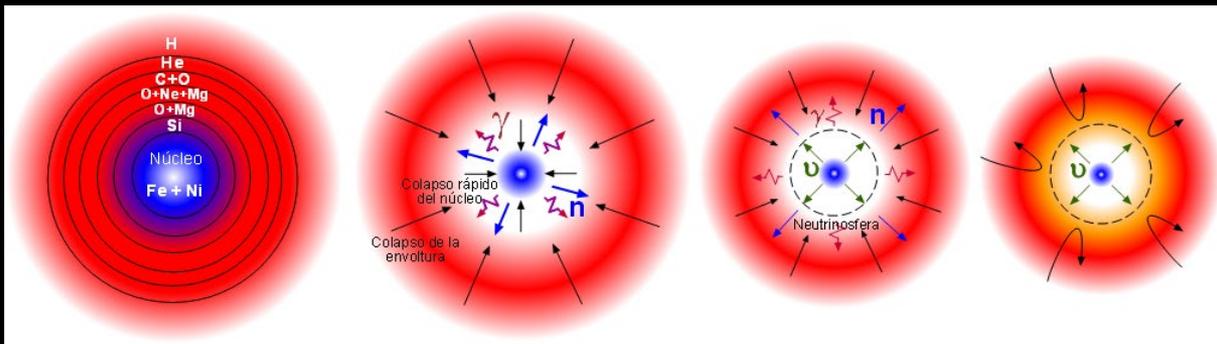
Queman H, He, C, Ne, O, Si



metales (C, O, Ne, N, ..., Fe)



# Estrellas masivas: $M_* > 9 M_{\text{Sol}}$



Colapso del núcleo

Estrellas masivas:  $M_* > 9 M_{\text{Sol}}$

Explosión de Supernova - Nebulosa del Cangrejo





# ¿Cómo se han originado los elementos químicos en el Universo?

## Procesos principales:

- **Nucleosíntesis primordial** (*Big Bang*)
- **Nucleosíntesis estelar** en interiores estelares
- **Nucleosíntesis explosiva** en explosiones de novas y supernovas

# Nucleosíntesis estelar explosiva: supernovas tipo II

## Supernova tipo II

Las capas externas se expulsan a muy alta velocidad → la onda de choque de la explosión se propaga por esas capas y genera combustiones nucleares violentas



Supernova en una galaxia externa

Producen una gran cantidad de O

Esencial para el metabolismo de los seres vivos

# Nucleosíntesis de elementos R (captura rápida de neutrones)

## Supernova tipo II

Flujo de neutrones muy elevado

Elementos R : Th, U, Pu



Desintegración de Th y U  
mantiene el núcleo terrestre fluido  
→ Campo magnético terrestre, tectónica de placas

# Nucleosíntesis de elementos R



## Th, U y Pu

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.933	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.992	34 Se Selenium 78.09	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 84.80
37 Rb Rubidium 84.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [208.982]	85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	115 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium [298]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown

57 La Lanthanum 138.906	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium [144.913]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.966	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium [243.061]	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]

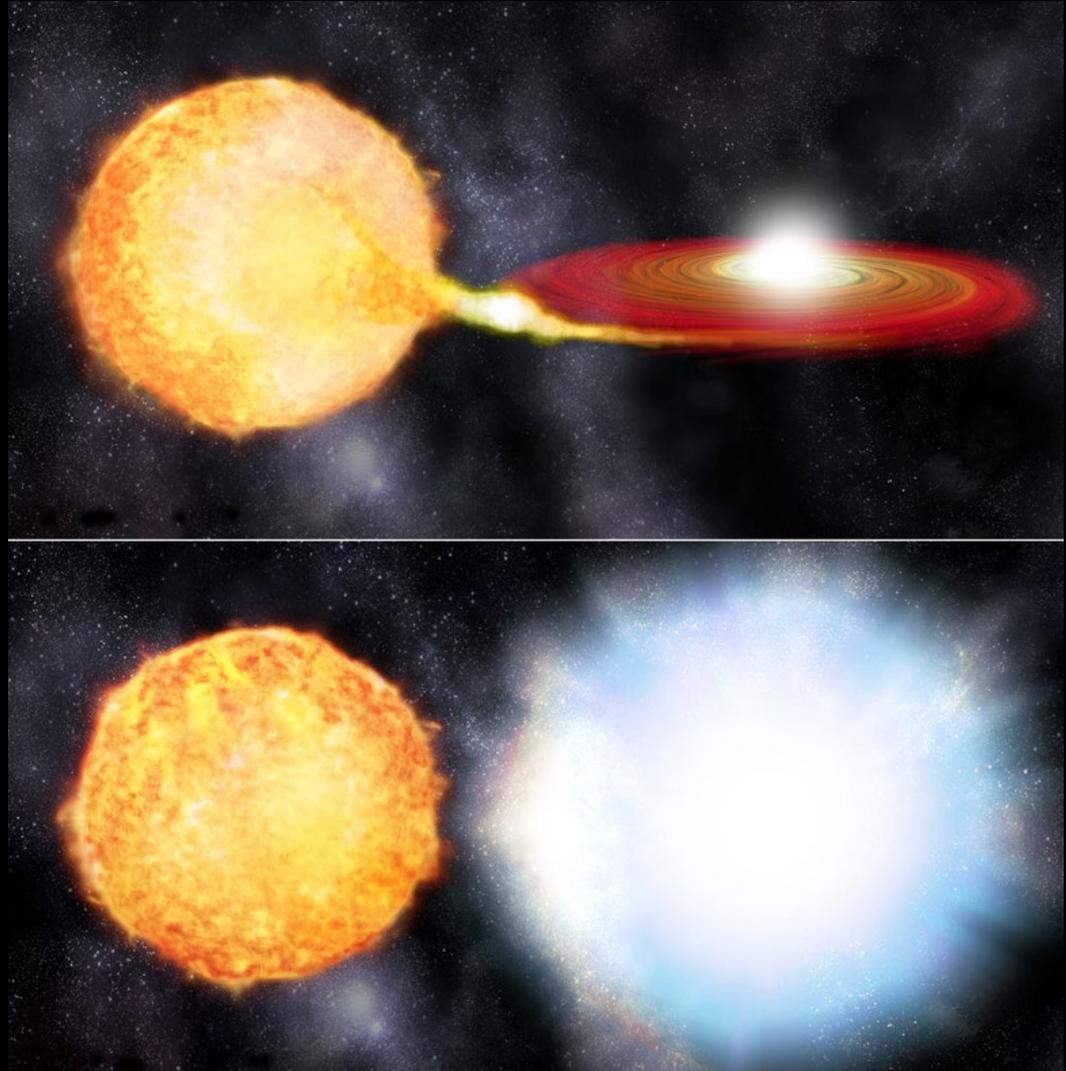
# Nucleosíntesis estelar explosiva: supernovas tipo Ia

## Supernovas tipo Ia

Colapso de una enana blanca en un sistema binario en contacto

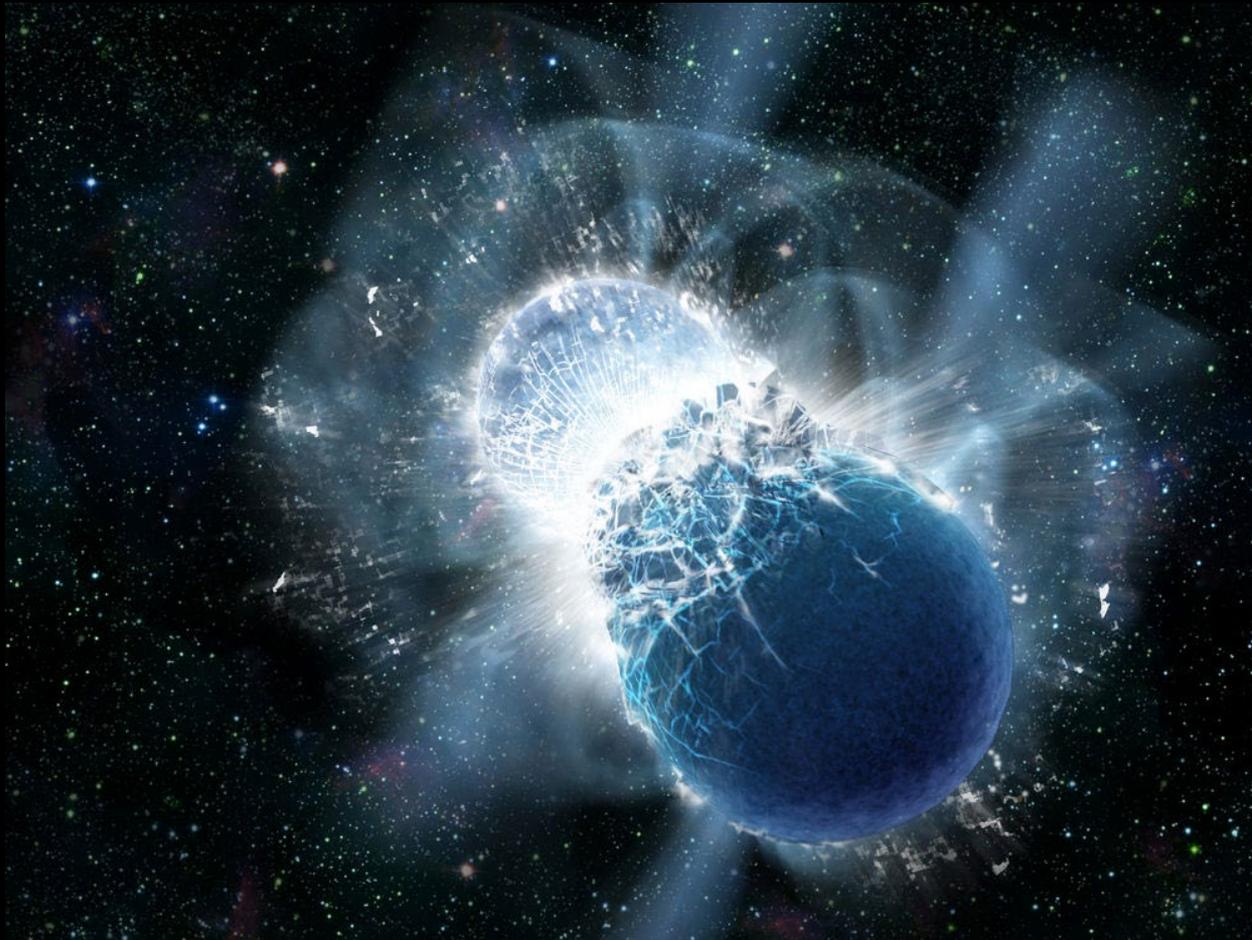
Se producen cantidades enormes de **Fe**

Principales fuentes de **Fe** en el Universo



# Nucleosíntesis estelar explosiva: oro cósmico

## Colisión de dos estrellas de neutrones



**¡10 masas lunares  
de Oro!**



# ¿Cómo se han originado los elementos químicos en el Universo?

## Procesos principales:

- **Nucleosíntesis primordial** (*Big Bang*)
- **Nucleosíntesis estelar** en interiores estelares
- **Nucleosíntesis explosiva** en explosiones de novae y supernovas
- **Procesos de “astillamiento”** o fraccionamiento de núcleos en el Medio Interestelar debido al impacto de rayos cósmicos

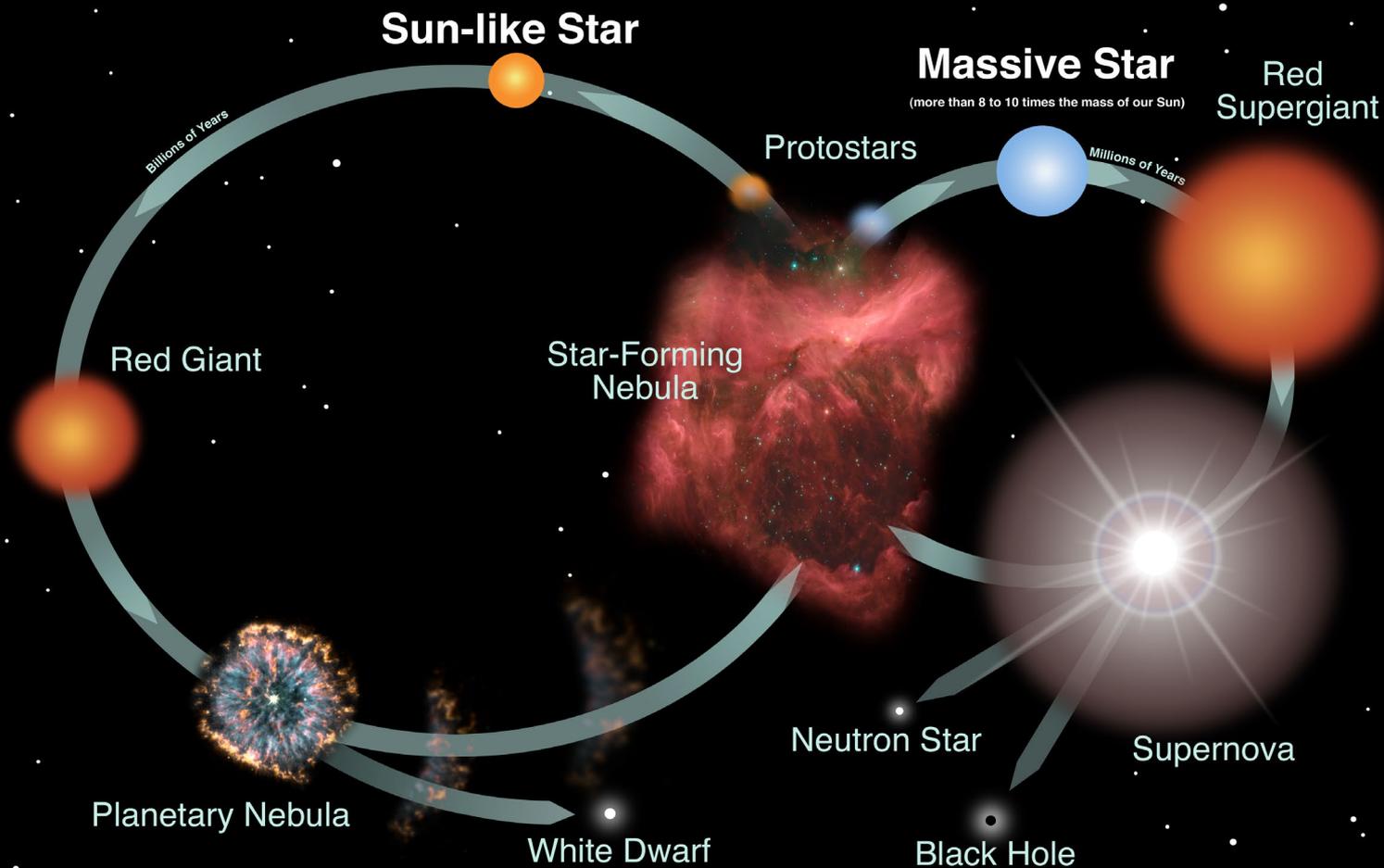
# ORIGEN CÓSMICO DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

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

Fusión en el Big Bang
  Muerte de estrellas de baja masa
  Explosión de estrellas masivas
  Fisión por rayos cósmicos
  Colisión de estrellas de neutrones
  Explosión de enanas blancas
  Síntesis humana

# Ciclo químico y vital del Universo

Las cenizas de estrellas muertas enriquecen químicamente las nuevas generaciones estelares



# Ciclo químico y vital del Universo



Somos polvo de estrellas

# La tabla periódica de los elementos químicos



## ¿Cómo los detectamos?

1 H Hydrogeno																	2 He Helio	
3 Li Litio	4 Be Berilio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Flúor	10 Ne Neón	
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón	
19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallo	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón	
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Itrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón	
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tantalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Platino	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatato	86 Rn Radón	
87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassio	109 Mt Meitnerio	110 Ds Darmstadtio	111 Rg Roentgenio	112 Cn Copernicio	113 Nh Nihonio	114 Fl Flervio	115 Mc Moscovio	116 Lv Livermorio	117 Ts Tenésio	118 Og Oganesón	
			58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Iterbio	71 Lu Lutecio		
			90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Laurencio		



**¡ Nuestro Laboratorio !**

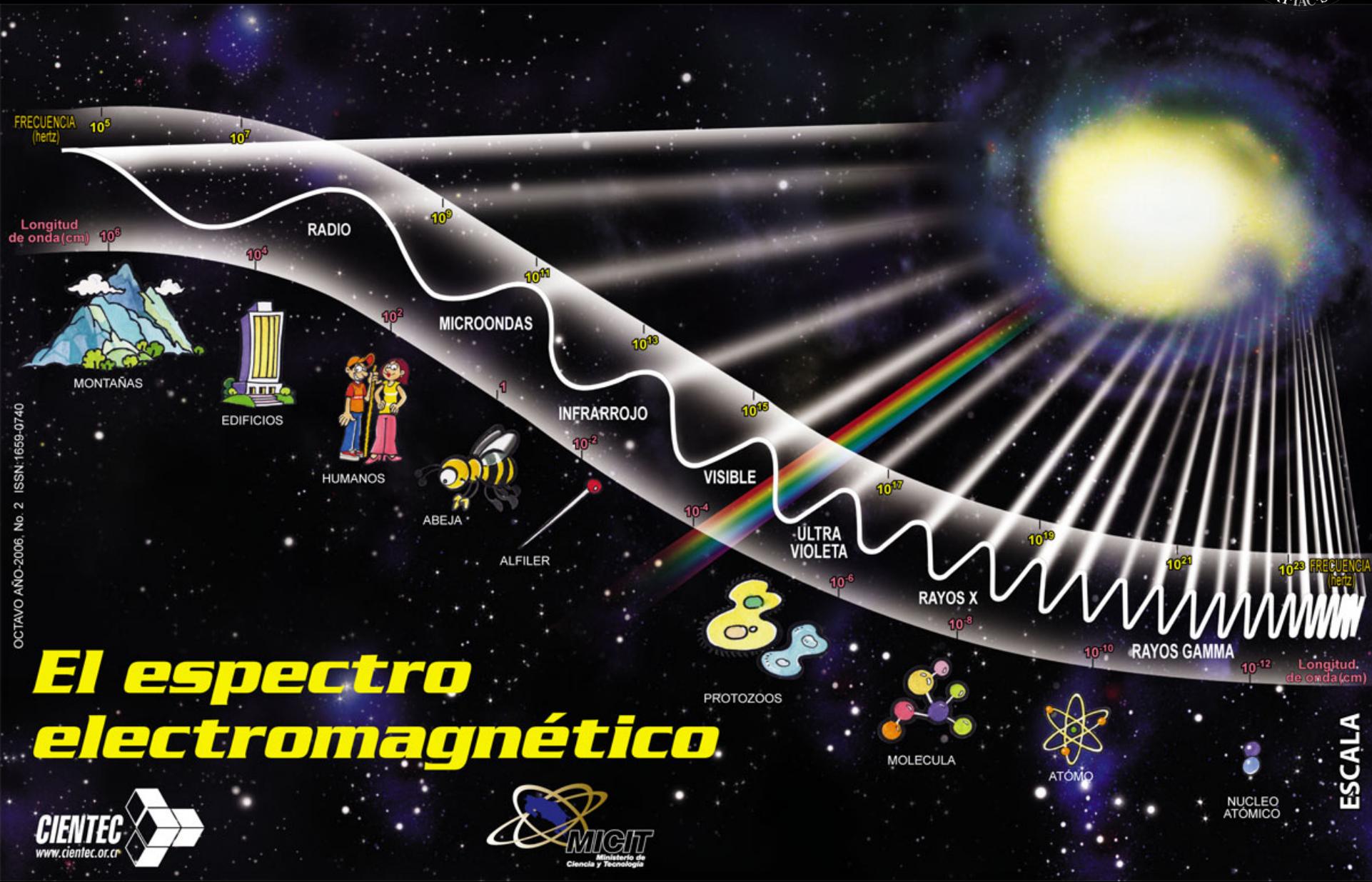
# ASTROFÍSICA

una Ciencia diferente

¡ SÓLO PODEMOS OBSERVAR !



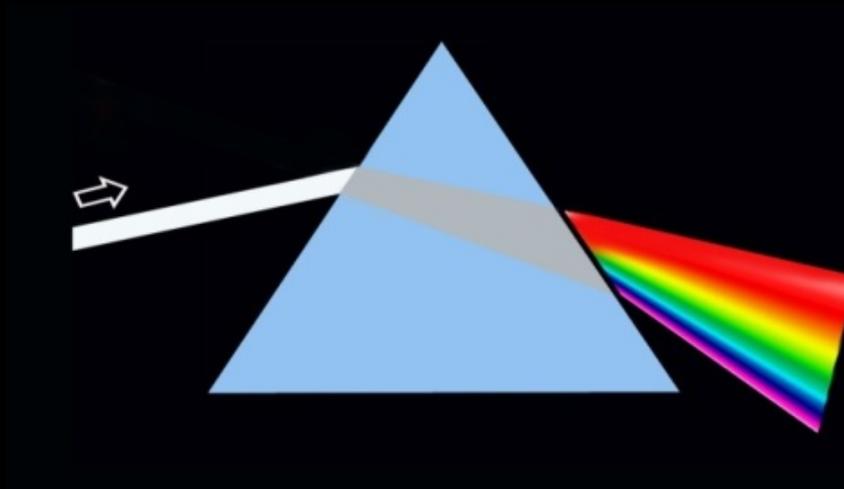
# Casi toda la información que nos llega del Cosmos es en forma de **LUZ**



## El espectro electromagnético

OCTAVO AÑO-2006, No. 2 ISSN: 1659-0740

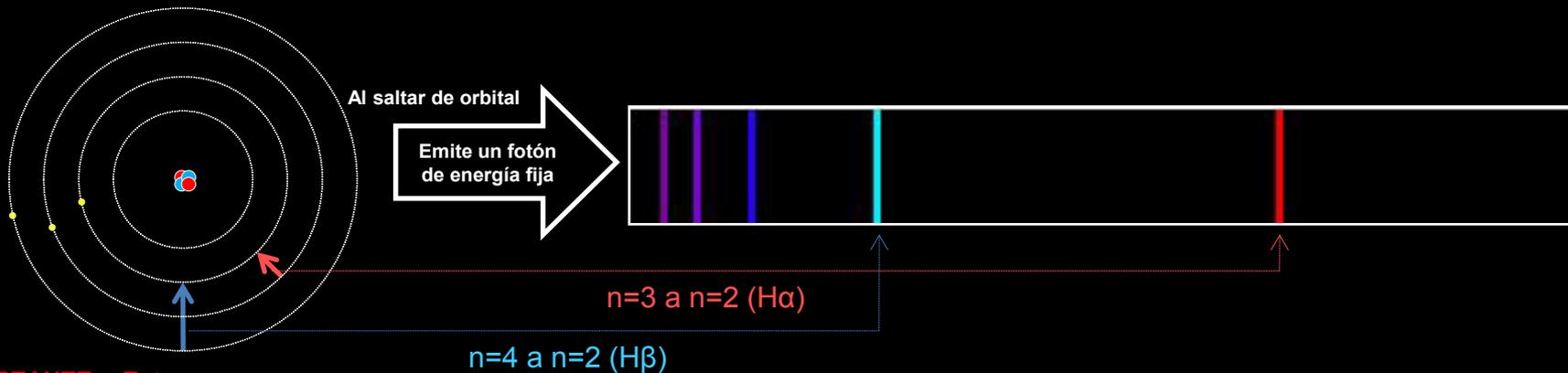
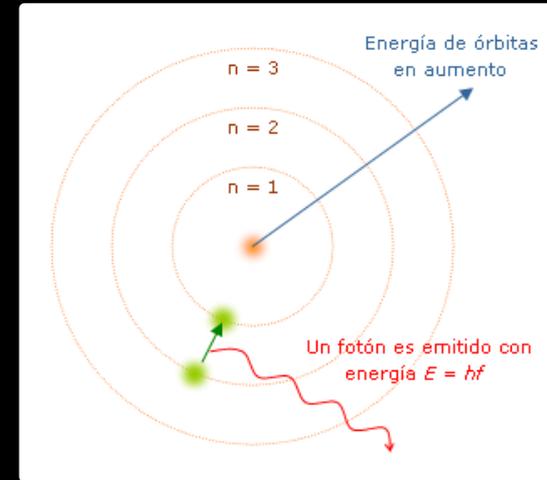
**Espectroscopia:** Descomposición de la luz en sus diferentes colores (longitudes de onda)



# Técnicas de la Astrofísica para estudiar el Universo

## Espectroscopia

El secreto para conocer lo más grande (el Universo) se encuentra en lo más pequeño (el átomo)



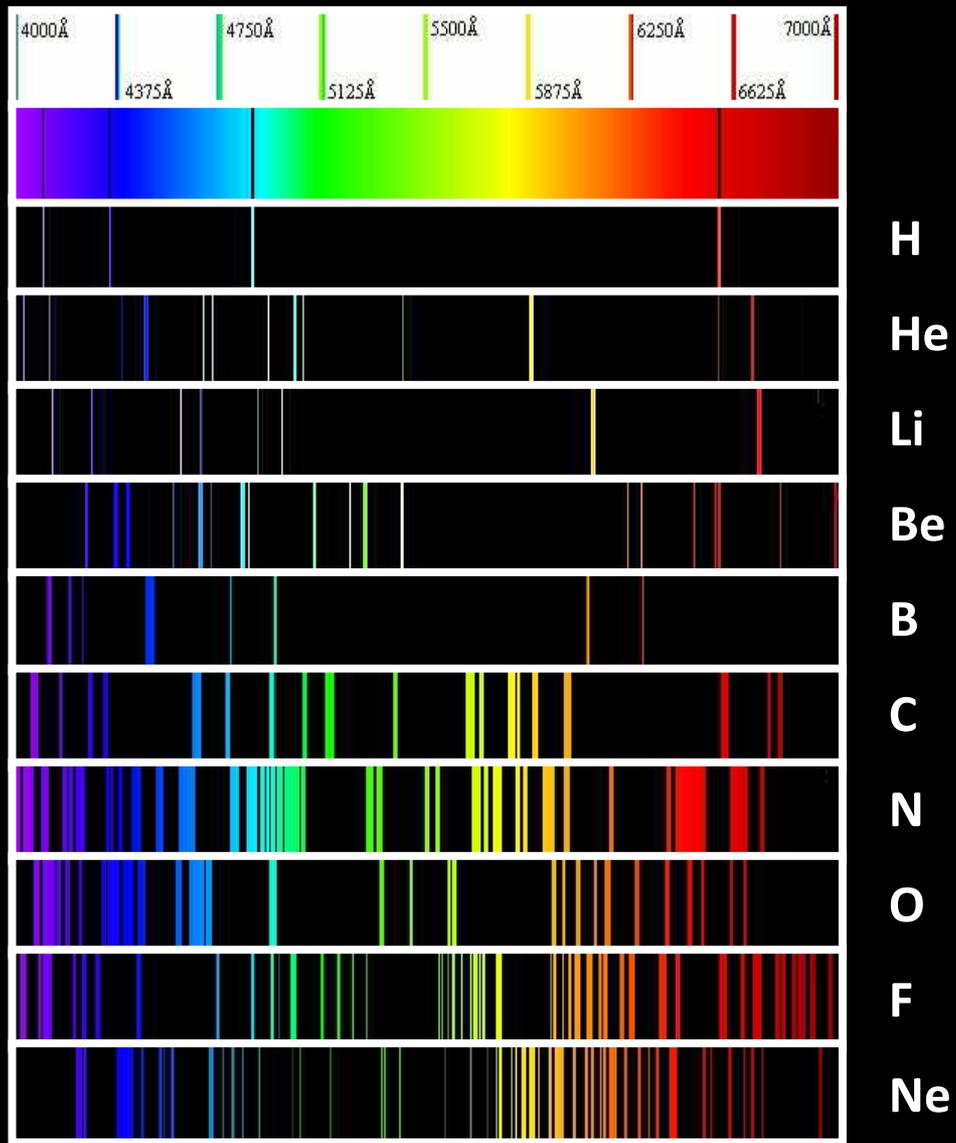
**IMPORTANTE:** ¡ Esto es un esquema, no la estructura real del átomo !

Así pues, las líneas espectrales son debidas a saltos entre orbitales, de energía definida.

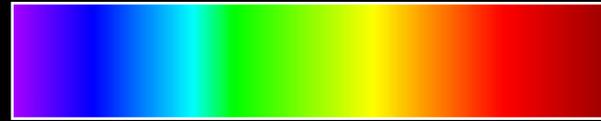
# Técnicas de la Astrofísica para estudiar el Universo

## Espectroscopia

El espectro es una huella dactilar infalible



# Tipos de espectros

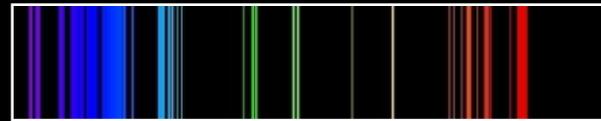


**Espectro continuo**

Ejemplos:



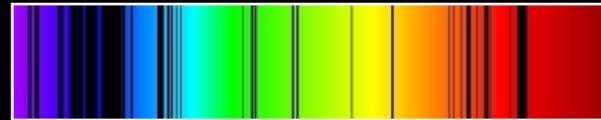
Lámpara incandescente



**Espectro de emisión**



Lámpara fluorescente

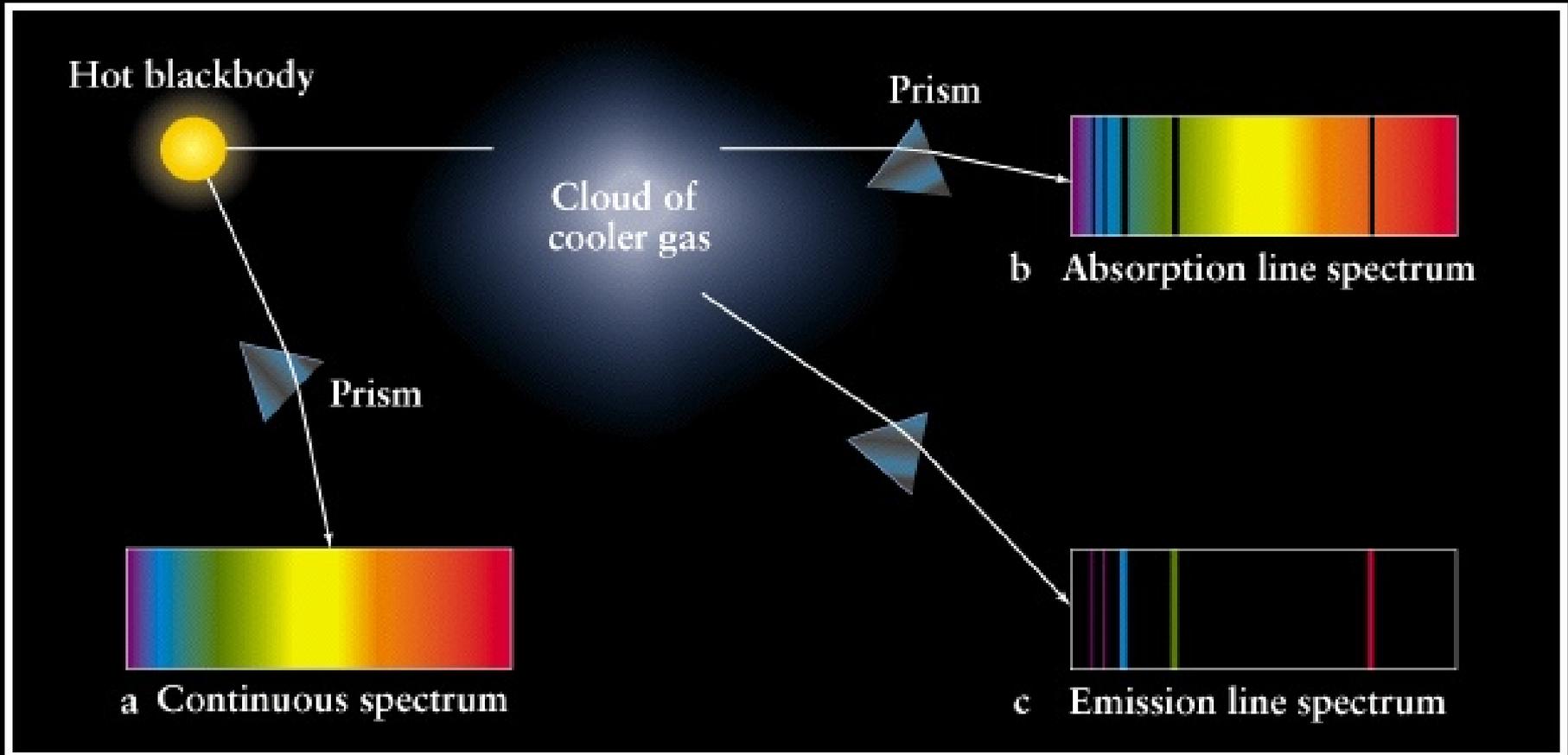


**Espectro de absorción**



Una estrella (como el Sol)

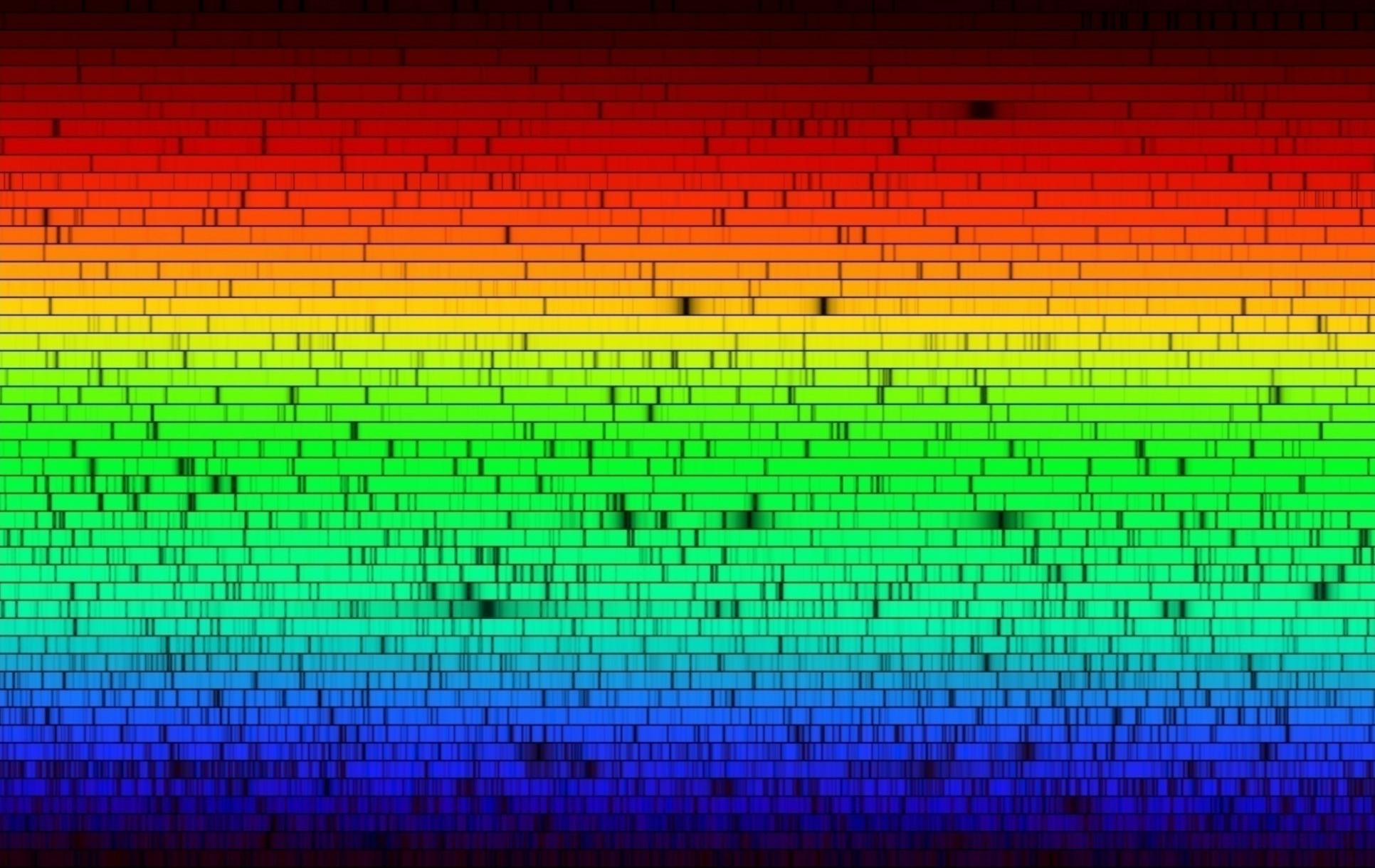
# Tipos de espectros



# Espectro estelar

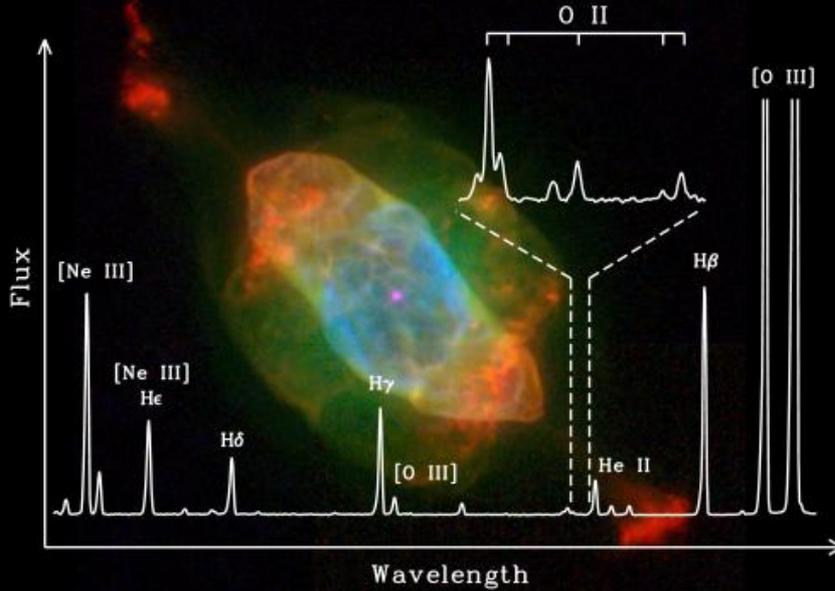


# El espectro visible del Sol (574 líneas)

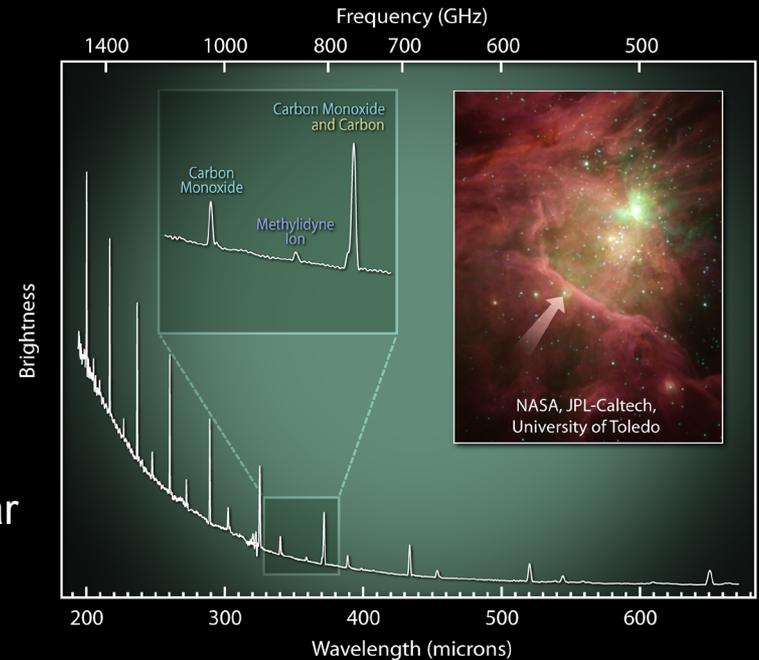


# Espectros de emisión

NGC 7009



Espectro de una nebulosa planetaria (nebulosa de Saturno)



Espectro de una región de formación estelar (nebulosa de Orión)

GRACIAS

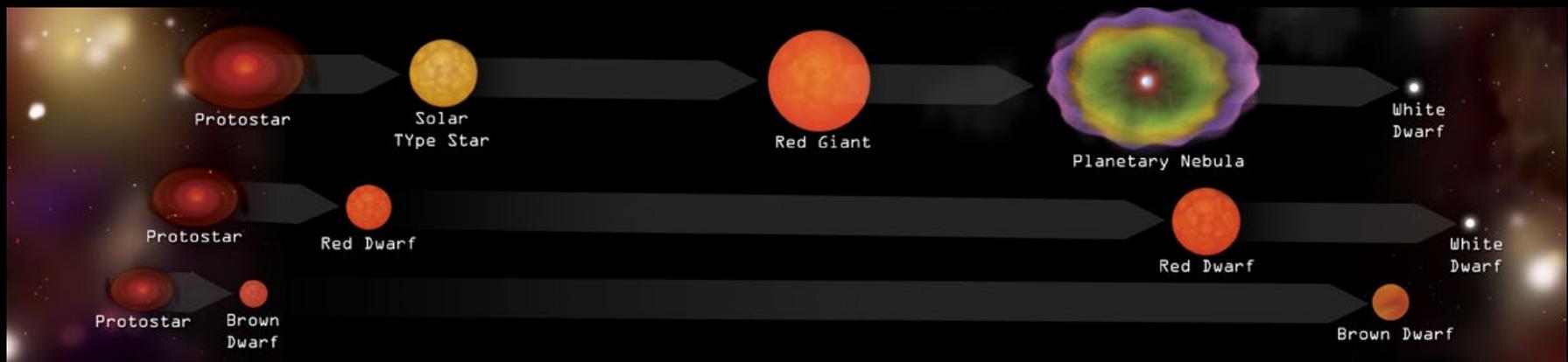
# ¿Quieres saber más?



# Evolución y nucleosíntesis de estrellas individuales según masa:

## Estrellas individuales de baja masa:

- $M_* \leq 0.08M_{\odot}$ : enana marrón, no quema H, no devuelve gas al Medio Interestelar (MI), vive para siempre
- $0.08M_{\odot} \leq M_* \leq 0.5 M_{\odot}$ : quema H pero no He, acaba su vida como enana blanca de He, no devuelve gas al MI, vive más que  $t_{\text{Hubble}}$ , **no contribuyen a la evolución química**
- $0.5 M_{\odot} \leq M_* \leq 2-2.2 M_{\odot}$ : quema H y el He en flashes, acaba su vida como enana blanca de CO, devuelve gas al MI en forma de NP (si  $M_* \geq 1 M_{\odot}$ ) → **contribuyen con He,  $^{14}\text{N}$  y elementos S ( $^{13}\text{C}$ , Ba, Y, Zr,...)**



## Estrellas individuales de masa intermedia:

- $2-2.2M_{\odot} \leq M_* \leq 5-6 M_{\odot}$ : queman He de forma hidrostática, desarrollan un núcleo degenerado de CO (enana blanca de CO) que no llega a quemarse → contribuyen con  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{13}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{17}\text{O}$  y elementos S
- $5-6 M_{\odot} \leq M_* \leq 8-9 M_{\odot}$ : queman C en un núcleo degenerado al alcanzar la masa de Chandrasekhar (SN tipo 1.5), generan NP rica en  ${}^4\text{He}$  y  ${}^{12}\text{C}$  (productos de la combustión del H y He) producen también:  ${}^{13}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{18}\text{O}$  como elementos secundarios



## Estrellas individuales masivas:

- $8-9 M_{\odot} \leq M_* \leq 10-12 M_{\odot}$ : queman C de forma hidrostática, queman O en un núcleo degenerado de NeO acaban su vida como SN tipo II → contribuyen con  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{17}\text{O}$  y algunos elementos pesados
- $10-12 M_{\odot} \leq M_* \leq \sim 40 M_{\odot}(\text{SNII})$ : experimentan todas las cadenas de combustiones hidrostáticas, acaban su vida como SN tipo II y dejan una estrella de neutrones o agujero negro → contribuyen con  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{20}\text{Ne}$ ,  ${}^{24}\text{Mg}$ ,  ${}^{28}\text{Si}$ ,  ${}^{32}\text{S}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$  y elementos R
- $40 M_{\odot} (\text{SNII}) \leq M_* \leq 100 M_{\odot}$ : alcanzan la fase Wolf Rayet (WR), fuerte pérdida de masa, pierden capas ricas en H antes de explotar como SN, acaban su vida como SN tipo Ib → contribuyen con  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{22}\text{Ne}$  en la fase WR y con  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{20}\text{Ne}$ ,  ${}^{24}\text{Mg}$ ,  ${}^{28}\text{Si}$ ,  ${}^{32}\text{S}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$  y elementos R en la fase SN
- $M_* \geq 100 M_{\odot}$ : después de agotar el He en el núcleo se quema rápidamente el O. Si la  $T > 10^9$  k se producen pares  $e^+e^-$  y la estrella se destruye en SN → contribuyen sobre todo con  ${}^{16}\text{O}$



## Enlaces de interés:

- Vídeo “IAC Investiga – Estrellas y Medio Interestelar”:  
<https://youtu.be/Xld0PztyG54>
- Life Cycle of stars (LCO):  
<https://lcogt.net/spacebook/life-cycle-stars/>
- Para los más pequeños “Estrellas y galaxias” (ESA Kids):  
<http://www.esa.int/esaKIDSes/Starsandgalaxies.html>
- Nucleosíntesis primordial (*Particle Data Group, LBNL*):  
<http://pdg.lbl.gov/2015/reviews/rpp2015-rev-bbang-nucleosynthesis.pdf>
- Nucleosíntesis estelar (Wikipedia):  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar\\_nucleosynthesis](https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_nucleosynthesis)

## Enlaces de interés:

- Proyecto Educativo con Telescopios Robóticos (PETeR) del IAC:  
[www.iac.es/peter](http://www.iac.es/peter)

A través de este proyecto ustedes y su alumnado podrán:

- usar telescopios robóticos profesionales para obtener imágenes de estrellas, cúmulos de estrellas, regiones de formación estelar, nebulosas, etc.
- hacer sus propias investigaciones astrofísicas: descubrir SNs, estrellas variables, caracterizar exoplanetas, ...





Autora: Nayra Rodríguez Eugenio (IAC), nre@iac.es

## Colaboradores:

César Esteban López (IAC)

Alfred Rosenberg (IAC)

## Créditos imágenes y vídeos:

- IAC
- Daniel López / IAC
- Gabriel Pérez - SMM (IAC)
- NASA
- ESA
- Wikimedia Commons
- University of Alberta
- UCL