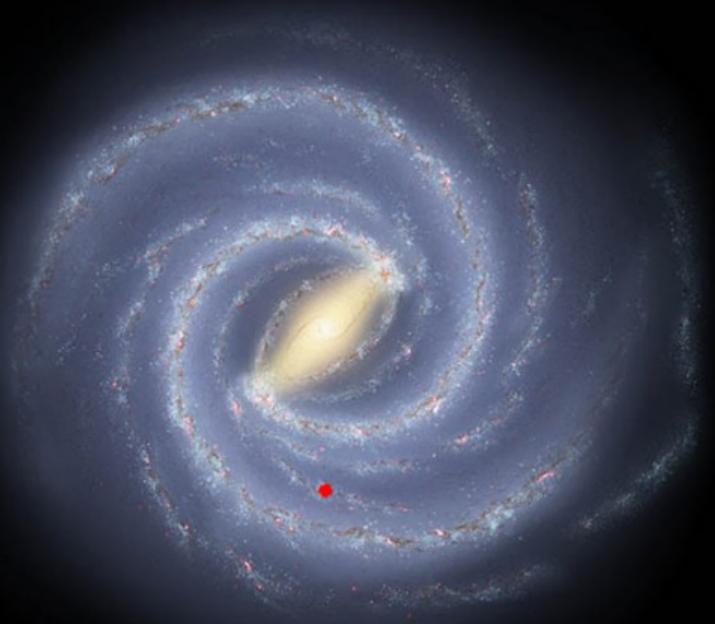


Cielo Profundo: Estrellas, Nebulosas, Cúmulos y Galaxias

Curso de introducción a la astronomía

Ernesto Nicola y Mateu Esteban

Calvià, 2023-02-11



¿Qué vemos cuando observamos el cielo?



Todo lo que vemos en el cielo es...

- estrellas
- agrupaciones medianamente grandes de estrellas:
 - cúmulos abiertos
 - cúmulos globulares
- agrupaciones enormes de estrellas:
 - galaxias
- o algo que está siendo iluminado por estrellas
 - cuerpos del sistema solar
 - La Luna, planetas, asteroides...
- nubes de gas y/o polvo:
 - nebulosas de emisión
 - nebulosas de reflexión
 - nebulosas oscuras
 - nebulosas planetarias

¿Qué vemos cuando observamos el cielo?



Todo lo que vemos en el cielo es...

- estrellas

- agrupaciones medianamente grandes de estrellas:

- cúmulos abiertos
- cúmulos globulares

- agrupaciones enormes de estrellas:
 - galaxias

- o algo que está siendo iluminado por estrellas

- cuerpos del sistema solar

- La Luna, planetas, asteroides...

- nubes de gas y/o polvo:

- nebulosas de emisión
- nebulosas de reflexión
- nebulosas oscuras
- nebulosas planetarias

¿Qué vemos cuando observamos el cielo?



Todo lo que vemos en el cielo es...

- estrellas
- agrupaciones medianamente grandes de estrellas:
 - cúmulos abiertos
 - cúmulos globulares
- agrupaciones enormes de estrellas:
 - galaxias
- o algo que está siendo iluminado por estrellas
 - cuerpos del sistema solar
 - La Luna, planetas, asteroides...
 - nubes de gas y/o polvo:
 - nebulosas de emisión
 - nebulosas de reflexión
 - nebulosas oscuras
 - nebulosas planetarias

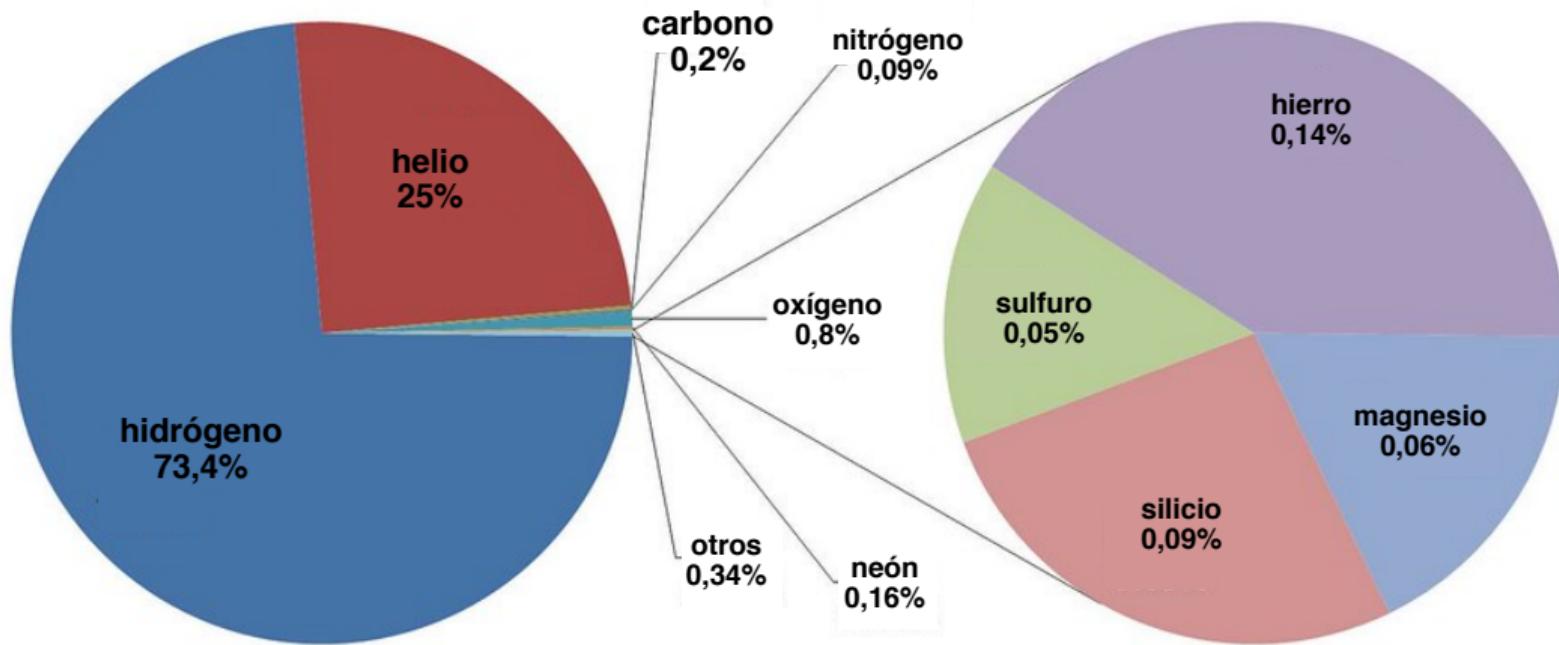
- 1 Estrellas**
 - Composición y funcionamiento de las estrellas
 - Las características principales de las estrellas
 - Nacimiento de las estrellas
 - La vida y muerte de las estrellas
- 2 Nebulosas y cúmulos estelares**
 - Objetos relacionados con el nacimiento de estrellas
 - Objetos relacionados con la extinción de estrellas
- 3 Galaxias**
 - Nuestra galaxia la Vía Láctea
 - Otras galaxias
- 4 Catálogos de objetos del cielo profundo**

1 Estrellas

1 Estrellas

1.1 Composición y funcionamiento de las estrellas

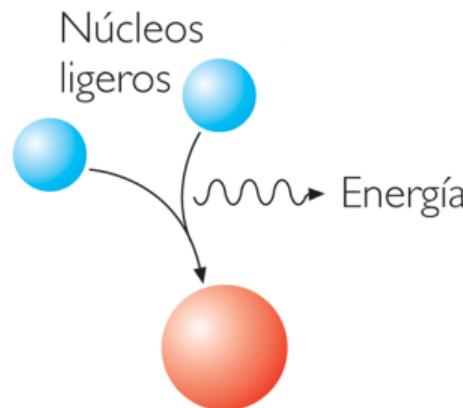
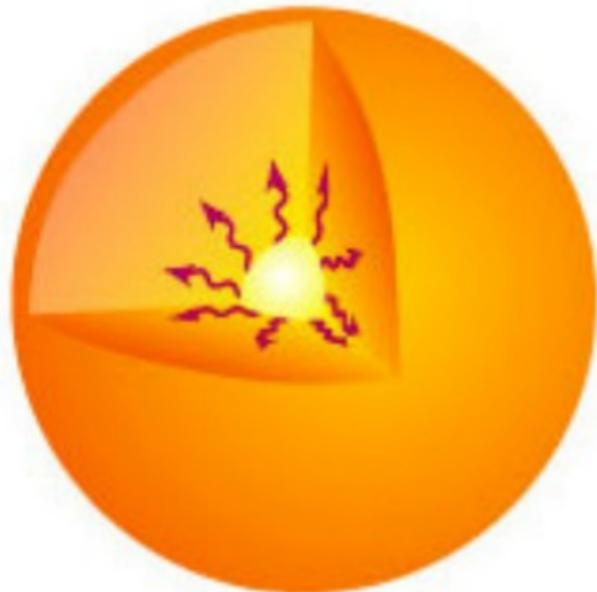
Composición de las estrellas



- Composición típica de una estrella (como el Sol):
 - H (hidrógeno): 73,7% por masa (o 92,1% por número de átomos)
 - He (helio): 24,8% por masa (o 7,8% por número de átomos)
 - Resto: 1,5% por masa.

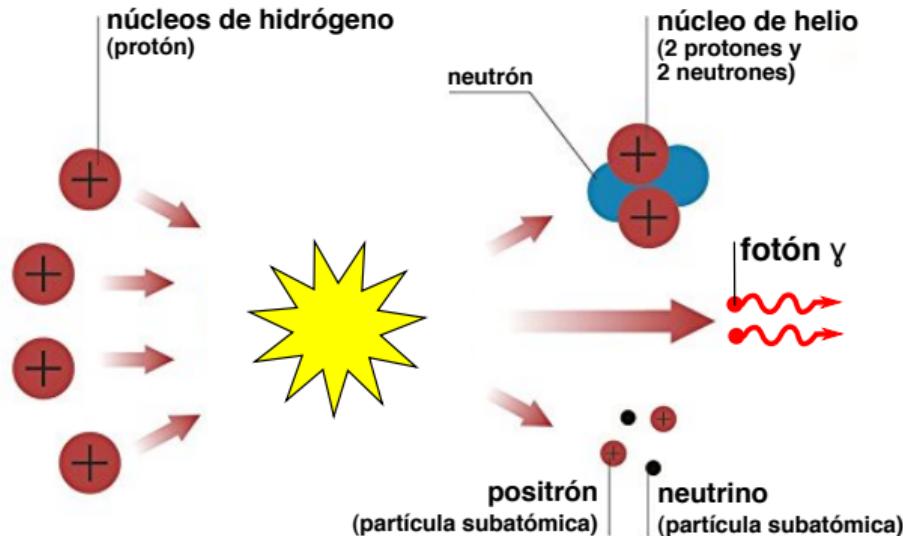
Las estrellas obtienen energía fusionando átomos ligeros

- Las estrellas son esferas de hidrógeno y helio



- En la parte más interior de todas las estrellas (el núcleo) se produce la fusión de átomos ligeros para formar átomos más pesados
- Esta reacción produce mucha energía.

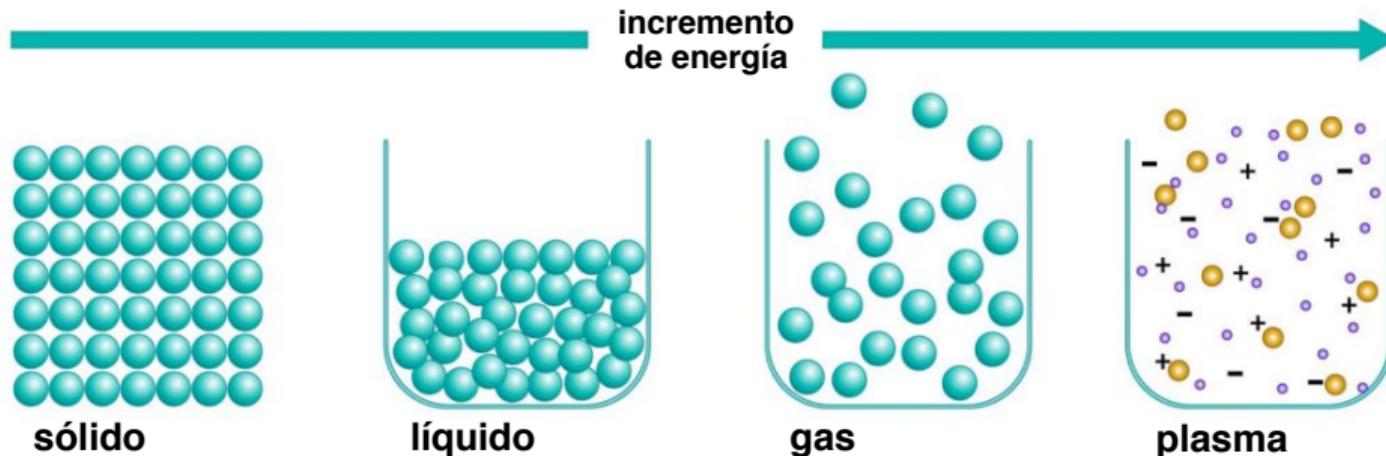
La mayoría de las estrellas producen energía transformando hidrógeno en helio



- La fuente principal de energía de una estrella es la fusión del hidrógeno en helio.
- Se convierten 4 núcleos de hidrógeno en uno de helio, liberando energía.
- En estrellas más masivas, hacia el final de sus vidas, también puede fusionar generando energía otros elementos como: helio, carbono, etc.

Las estrellas son esferas de plasma

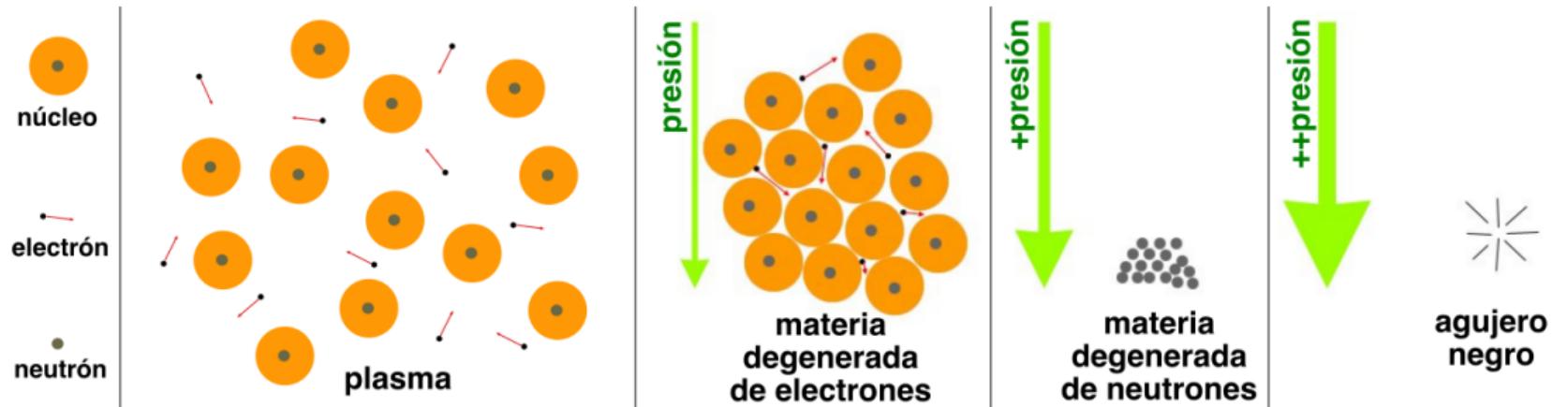
- Las estrellas están hechas de **plasma**



- El plasma se puede caracterizar como un gas ionizado
- El plasma es un estado de la materia similar al estado gaseoso, pero en el que determinada proporción de sus partículas (átomos o moléculas) están cargadas eléctricamente (ionizadas)
- Ejemplos de plasmas: luces de neón y rayos

¿Qué sucede cuando el plasma se comprime?

- Al final de la vida de la estrella el plasma es comprimido enormemente
- Cuando un gas es sometido a altísimas presiones, sus átomos (o núcleos) no pueden moverse libremente, convirtiéndose en **materia degenerada**
- Dependiendo de la presión a aplicada al plasma existen tres umbrales:

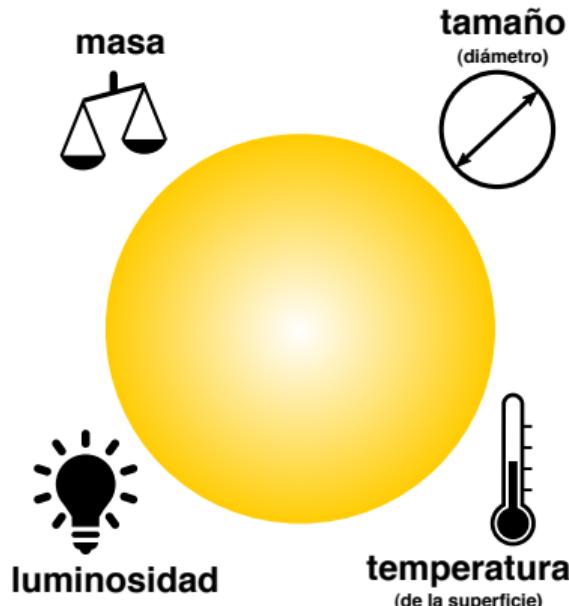


- 1 **materia degenerada de electrones** (se observa en las "enanas blancas")
- 2 **materia degenerada de neutrones** (se observa en las "estrellas de neutrones")
- 3 **agujero negro**

1 Estrellas

1.2 Las características principales de las estrellas

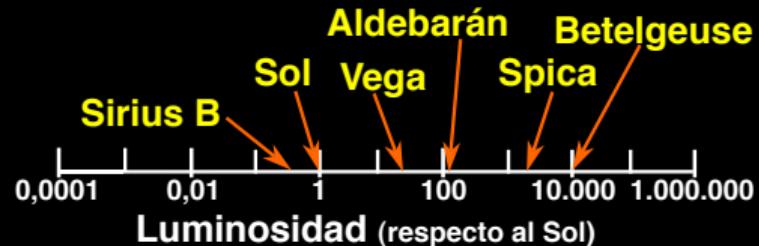
Los parámetro más importantes de las estrellas



- Hay cuatro magnitudes relevantes para toda estrella
 - 1 Luminosidad (\propto Magnitud Absoluta)
 - 2 Diámetro (tamaño)
 - 3 Temperatura Superficial
 - 4 **Masa**
- A lo largo de la vida de una estrella la luminosidad, el diámetro y su temperatura superficial cambian!
- La Masa de una estrella permanece relativamente constante

Luminosidad, tamaño y temperatura de las estrellas

- Variaciones de **luminosidad** enormes
(entre 1/10.000 y 1.000.000 veces el Sol)



- Variaciones de **diámetro** son enormes!

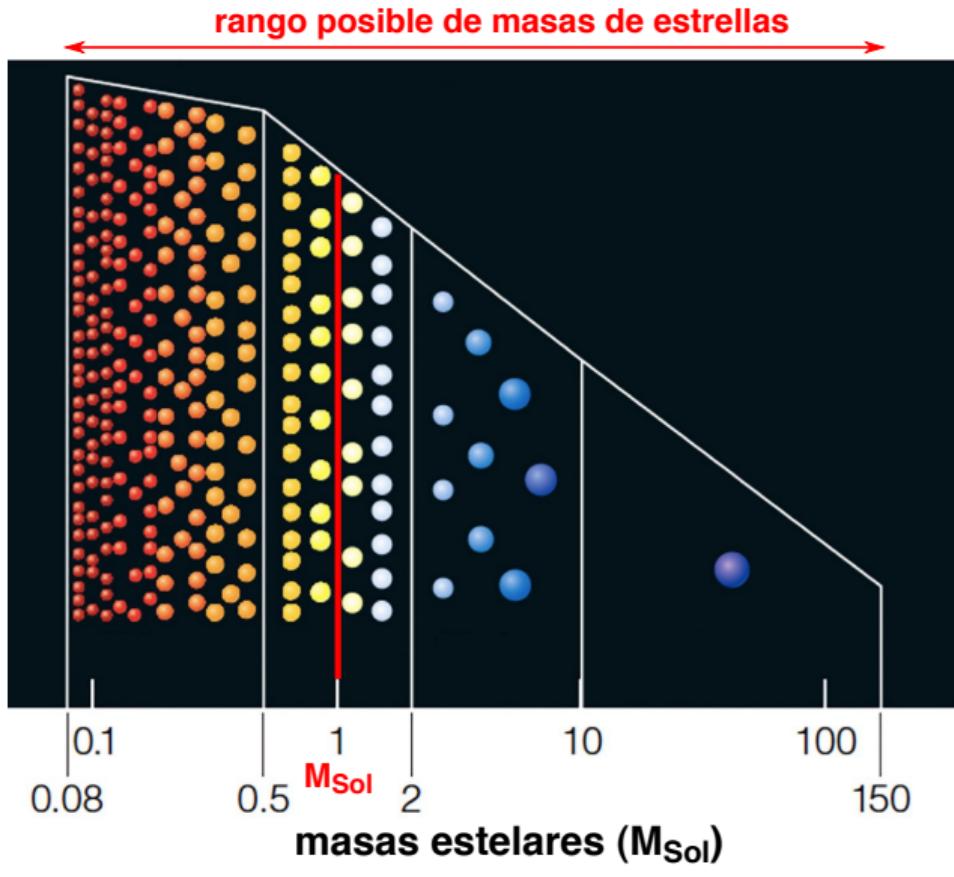


Color	Example	Surface Temperature (°C)
Blue	Spica (Virgo)	28,000–11,000
Cyan	Vega (Lyra)	11,000–7,500
Yellow	Sun	6,000–5000
Orange	Arcturus (Boötes)	5,000–3,600
Red	Antares (Scorpius)	3,600–2,000

- Variaciones de **temperatura superficial**: entre 2.000 y 28.000°C

- La temperatura de la superficie de las estrellas está correlacionada con su color visible
- Las estrellas más calientes son azules
- Las estrellas más frías son rojas

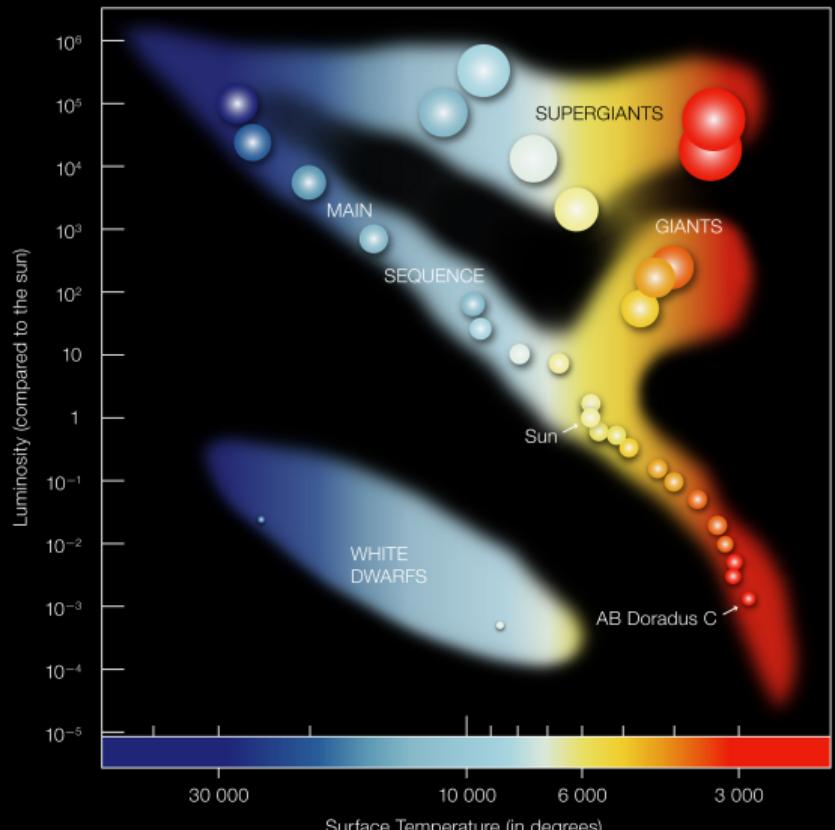
Masa de las estrellas: hay pocas estrellas más masivas que el Sol



- Las estrellas menos masivas tienen $0.08M_{\text{Sol}}$
- Las más masivas $\approx 150M_{\text{Sol}}$
- Hay muchas más estrellas pequeñas que el Sol que grandes

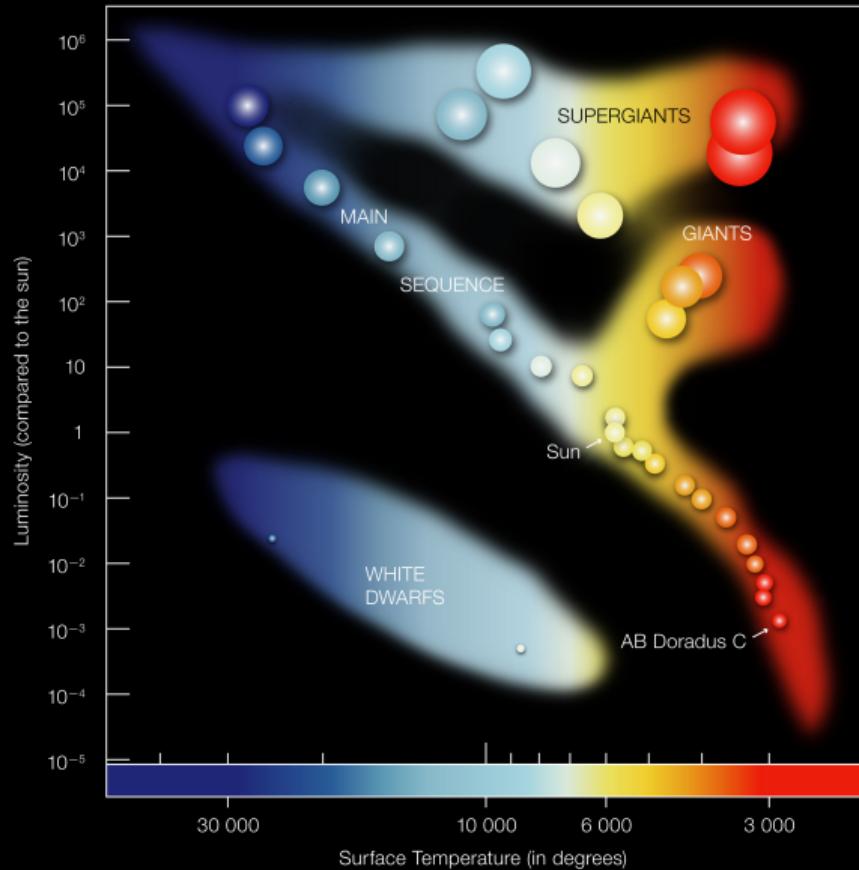
adaptado de David Sobral

Diagrama de luminosidad-temperatura



- El diagrama de Hertzsprung-Russell es la "piedra Rosetta" de las estrellas: nos permite analizar de la diversidad de estrellas existentes
- Eje Horizontal: Temperatura de la superficie de la estrella (notar que a la izquierda están las estrellas más calientes).
- Eje Vertical: Luminosidad de la estrella (típicamente indicado de manera comparativa con la luminosidad del Sol)
 - Otras características de las estrellas no incluidas: Diámetro, Masa, Temperatura en el núcleo.

Diagrama de Hertzsprung-Russell ("Diagrama H-R")



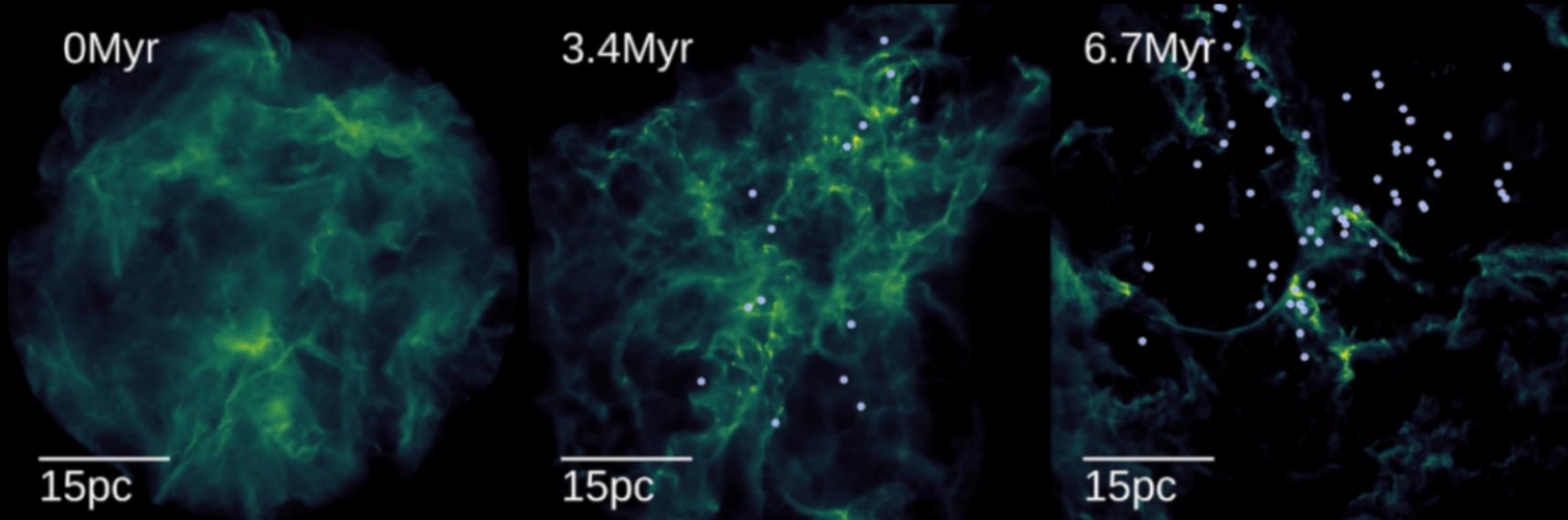
■ Zonas del diagrama H-R:

- 1 Secuencia Principal
- 2 Gigantes Rojas
- 3 Súper-gigantes
- 4 Enanas Blancas

1 Estrellas

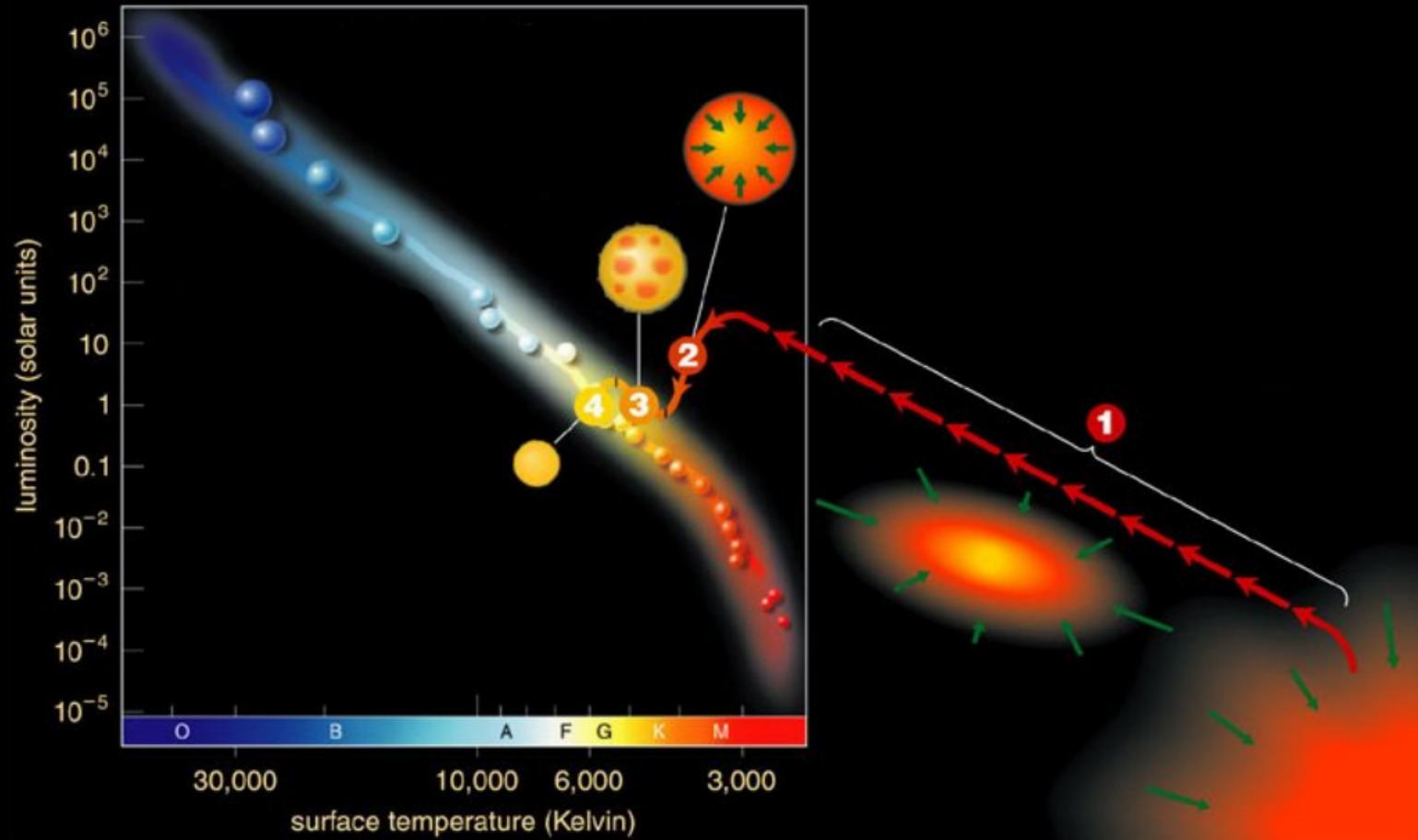
1.3 Nacimiento de las estrellas

Las estrellas nacen de nubes de gas y polvo

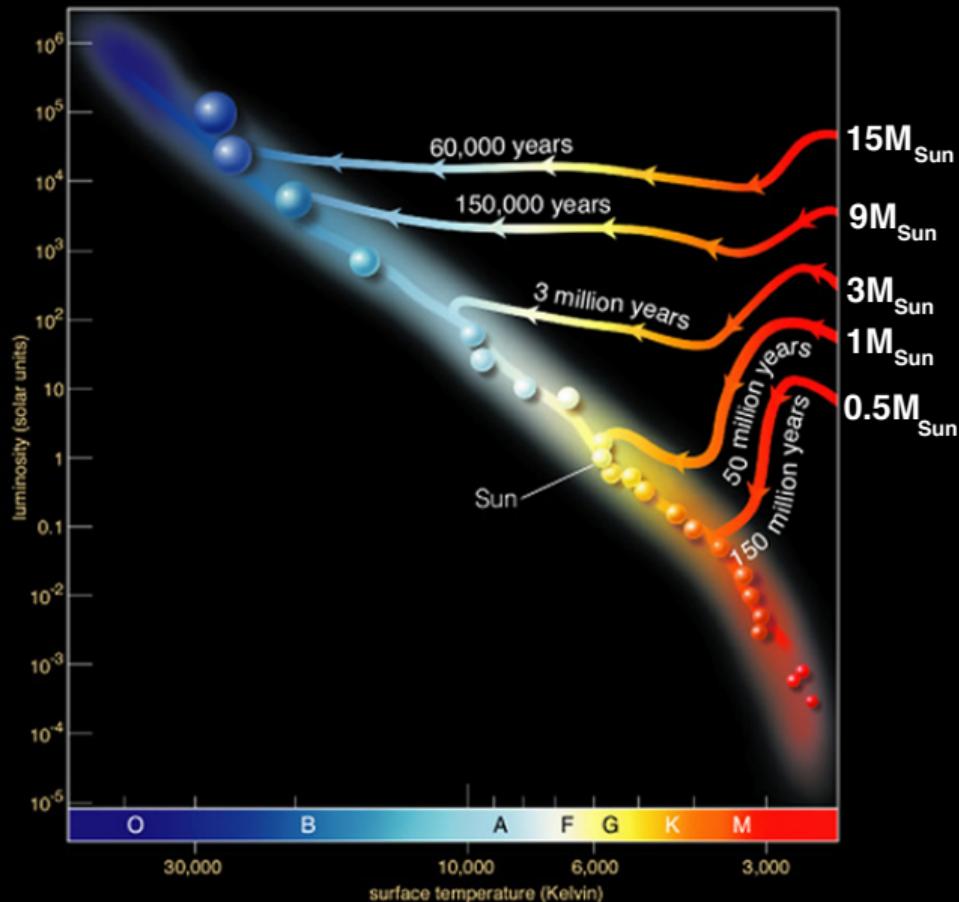


- Las estrellas nacen de grandes nubes de gas y polvo
- De una nube de gas y polvo pueden nacer cientos o miles de estrellas

La nebulosa que da lugar a una estrella se contrae y calienta

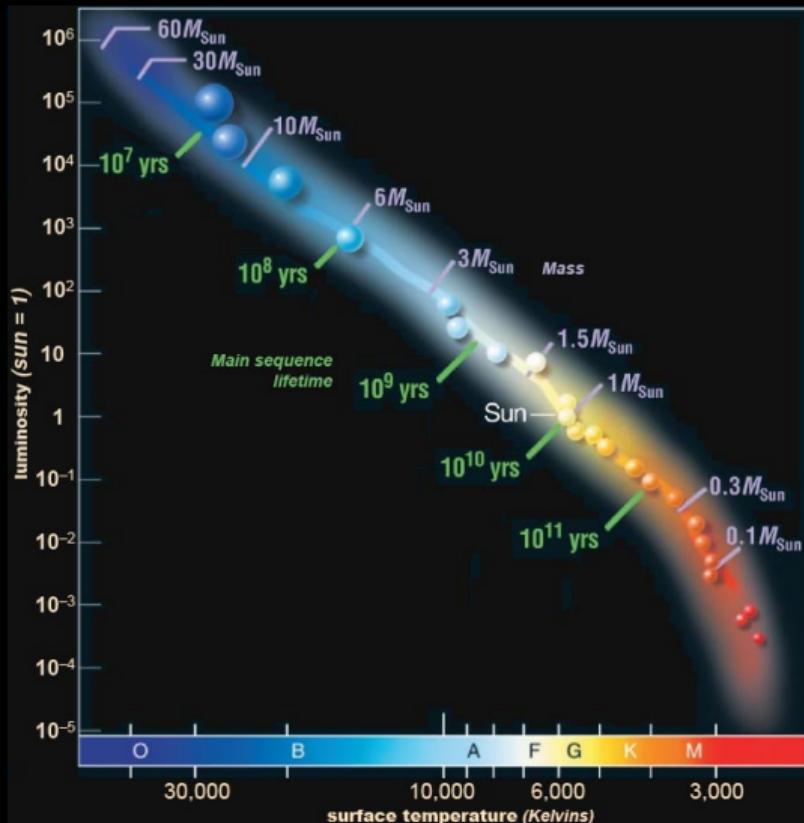


La masa de la estrella determina su lugar en la secuencia principal



- La masa de la estrella determina su lugar en la secuencia principal
- Al acercarse a la secuencia principal la estrella se "enciende": la estrella comienza a producir energía fusionando H en He en su núcleo

Estrellas pasan la mayor parte de su vida en la secuencia principal



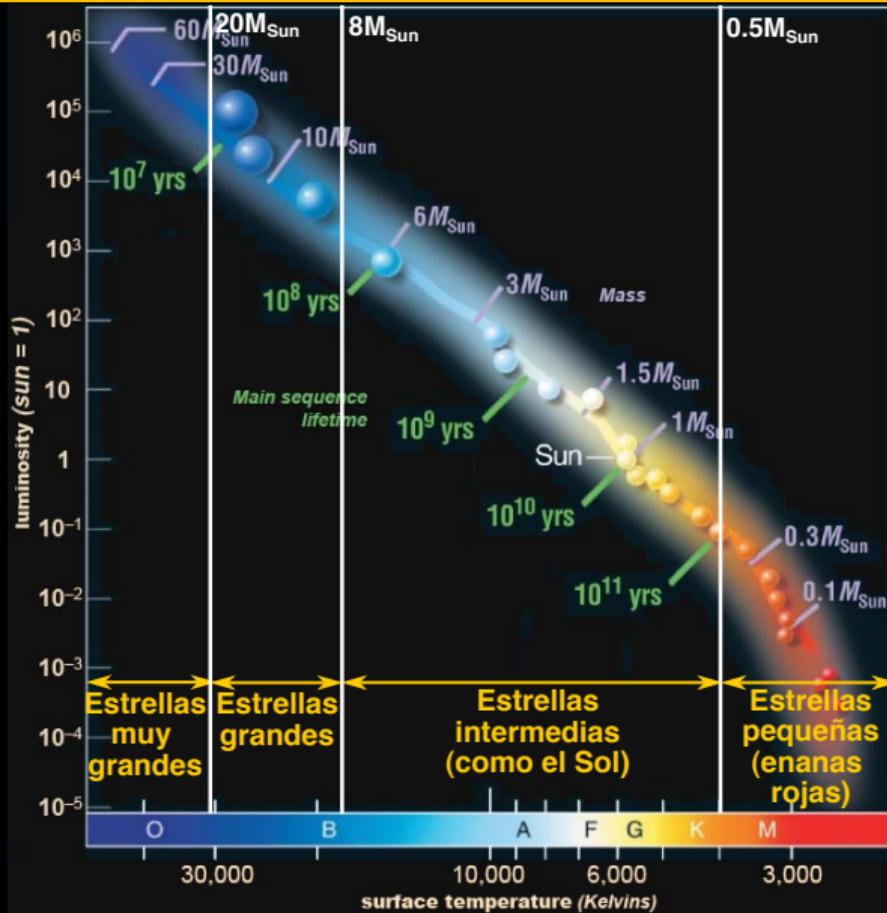
La mayoría de las estrellas están en (o cerca de) una "línea" en el diagrama H-R. Esta zona es llamada la **secuencia principal**:

- En la secuencia principal las estrellas producen energía fusionando hidrógeno en helio en su núcleo

1 Estrellas

1.4 La vida y muerte de las estrellas

Cuatro tipos distintos de estrellas



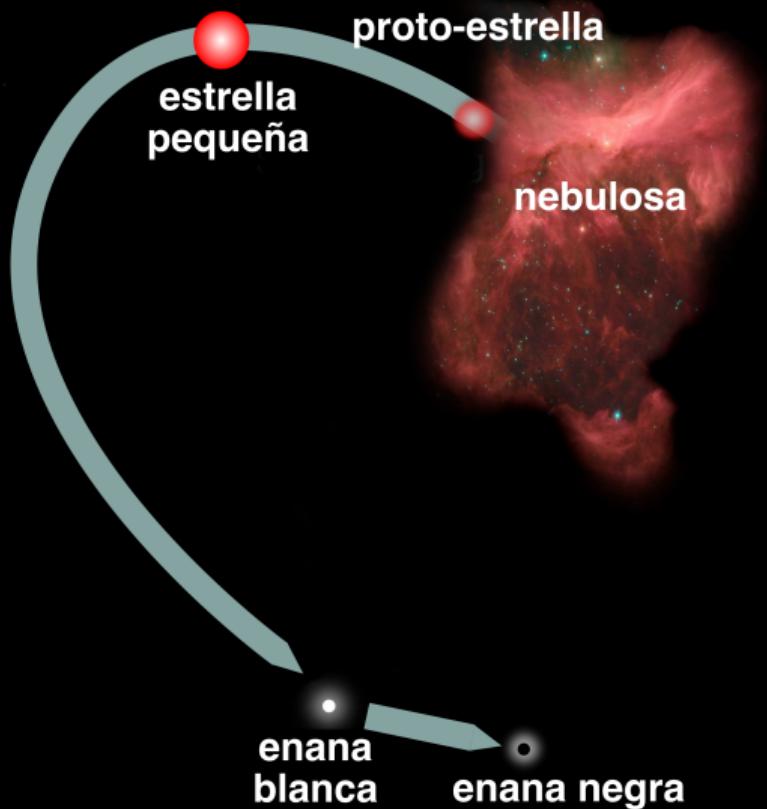
Cuatro tipos distintos de estrellas

- 1 Estrellas pequeñas (entre 0.08 y $0.5 M_{\text{Sol}}$)
- 2 Estrellas intermedias (entre 0.5 y $8 M_{\text{Sol}}$; estrellas como el Sol)
- 3 Estrellas grandes (entre 8 y $20 M_{\text{Sol}}$)
- 4 Estrellas muy grandes (entre 20 y $150 M_{\text{Sol}}$)

1.4 La vida y muerte de las estrellas

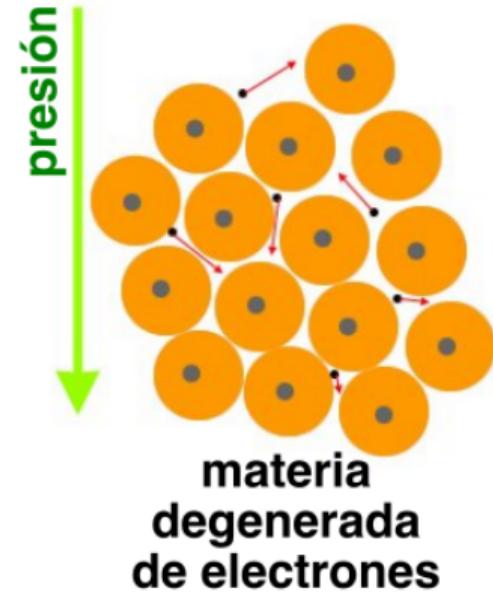
Estrellas pequeñas

Estrellas pequeñas (entre 0.08 y 0.5 M_{Sol}): enanas rojas



- Las estrellas pequeñas (entre 0.08 y 0.5 M_{Sol} ; llamadas **enanas rojas**) tiene **vidas extremadamente largas** (muchos miles de millones de años)
- Al final de su vida la estrella deja de producir energía formando una **enana blanca** que se enfriá lentamente hasta dar lugar a una enana negra

Tamaño y composición de las enanas blancas

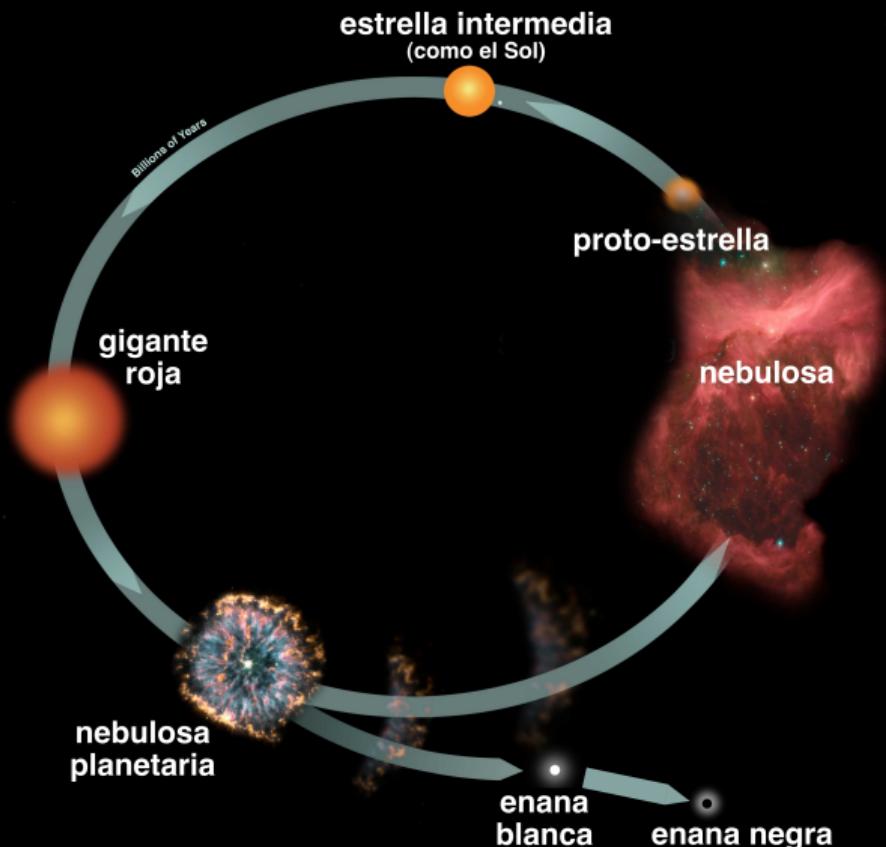


- Una estrella pequeña termina su vida en una **enana blanca**
- La masa de la enana blanca es similar a la masa inicial de la estrella pero su diámetro es similar al de la tierra
- La enana blanca esta hecha de **materia súper-densa!**

1.4 La vida y muerte de las estrellas

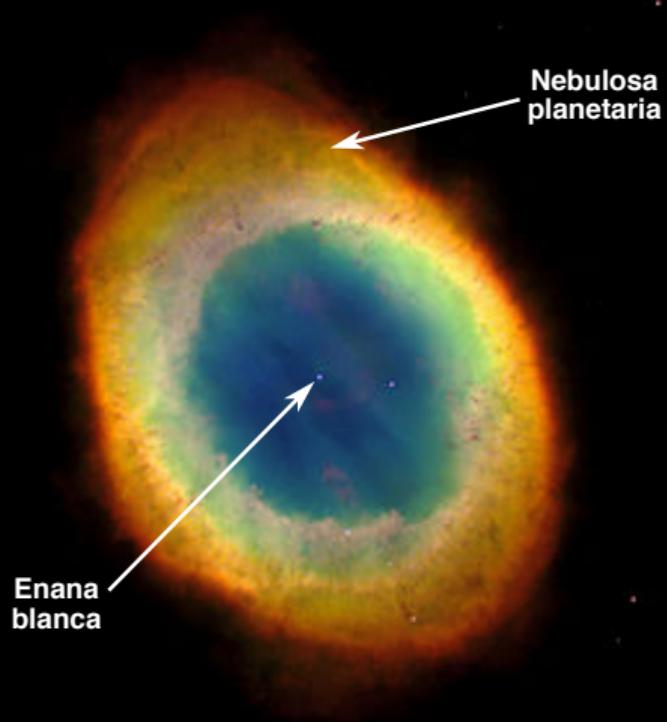
Estrellas intermedias

Estrellas intermedias (entre 0.5 y 8 M_{Sol} ; estrellas como el Sol)



- Las estrellas intermedias (entre 0.5 y 8 M_{Sol} ; estrellas muy similares a el Sol) tienen **vidas largas** (miles de millones de años)
- Hacia el final de su vida la estrella se enfria y hace más grande formando una **gigante roja**
- La gigante roja termina su vida explusando sus capas exteriores: **nebulosa planetaria**
- El resto de la estrella se comprime para formar una **enana blanca**.

Producto final de la evolución: nebulosa planetaria

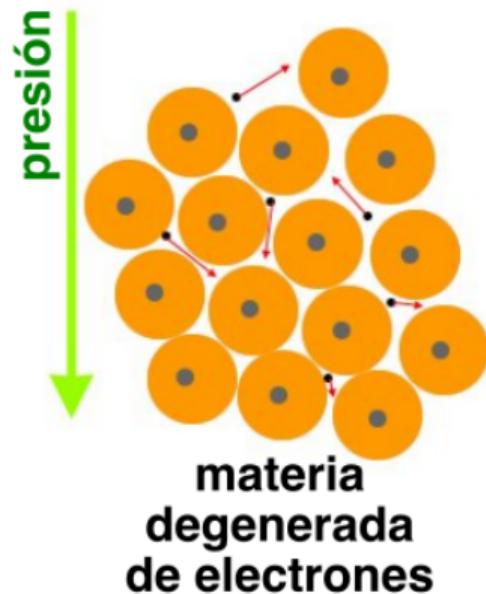


- Las capas exteriores de la estrella son eyectadas formando una nube que rodea la enana blanca que contiene las partes más interiores de la estrella
- Las partes eyectadas aumentan tu tamaño con el tiempo
- Las nebulosas planetarias (o de eyección) solo duran unos pocos miles de años

Producto final de la evolución: enana blanca



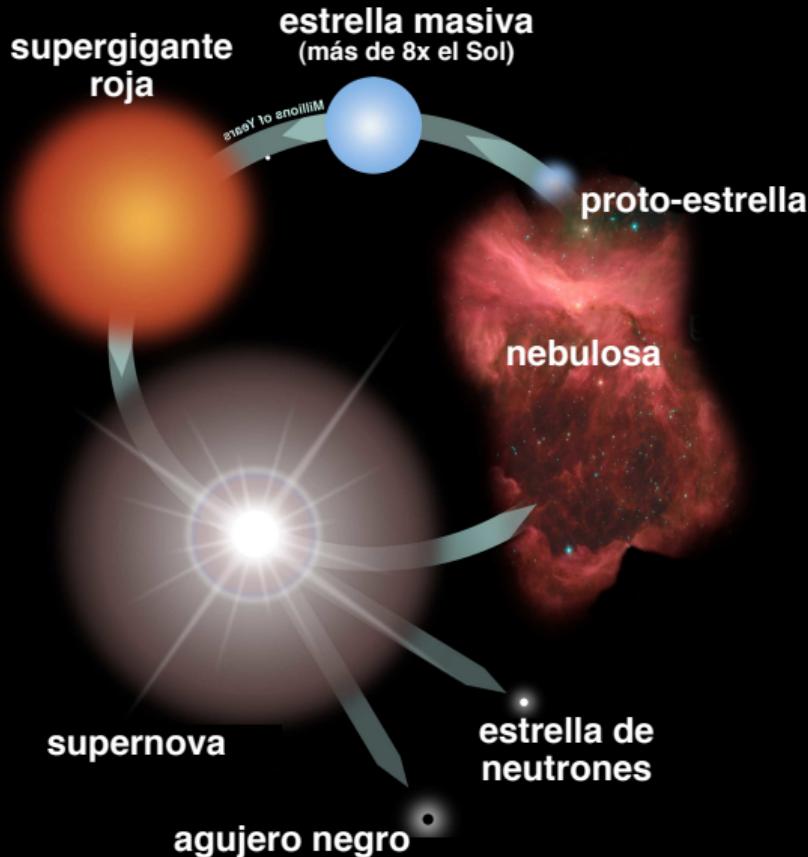
- La vida de la estrella intermedia termina en una **enana blanca**
- La masa de la enana blanca es similar a la masa inicial de la estrella pero su diámetro es similar al de la tierra
- La enana blanca esta hecha de **materia súper-densa!**



1.4 La vida y muerte de las estrellas

Estrellas grandes y muy grandes

Estrellas grandes y muy grandes (entre 8 y 150 M_{Sol})



- Las estrellas grandes (entre 8 y 20 M_{Sol}) y muy grandes (entre 20 y 150 M_{Sol}) tienen **vidas muy cortas** (millones de años)
- Terminan su vida de forma abrupta con una gran explosión: **supernova de colapso de núcleo**
 - Esta producción de energía es transitoria y la estrella puede llegar a brillar con tanta luminosidad como la que produce una galaxia entera!
- Dependiendo del tamaño el producto final es:
 - 1 una **estrella de neutrones** o
 - 2 un **agujero negro**

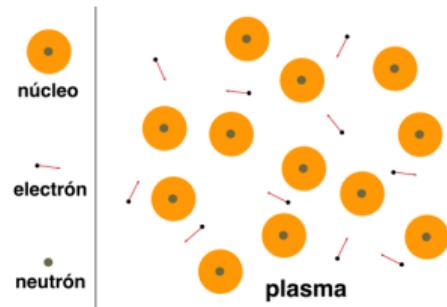
Explosión de Supernova

Ejemplo: Animación de la Supernova Cassiopeia A (distancia: 11,000 ly; su luz llegó a la Tierra en 1690s)



Producto final de la evolución: estrella de neutrones o agujero negro

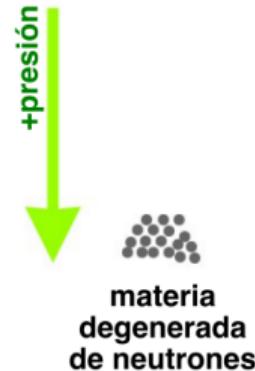
■ Estrella normal hecha de plasma:



■ Tamaño de una estrella de neutrones:



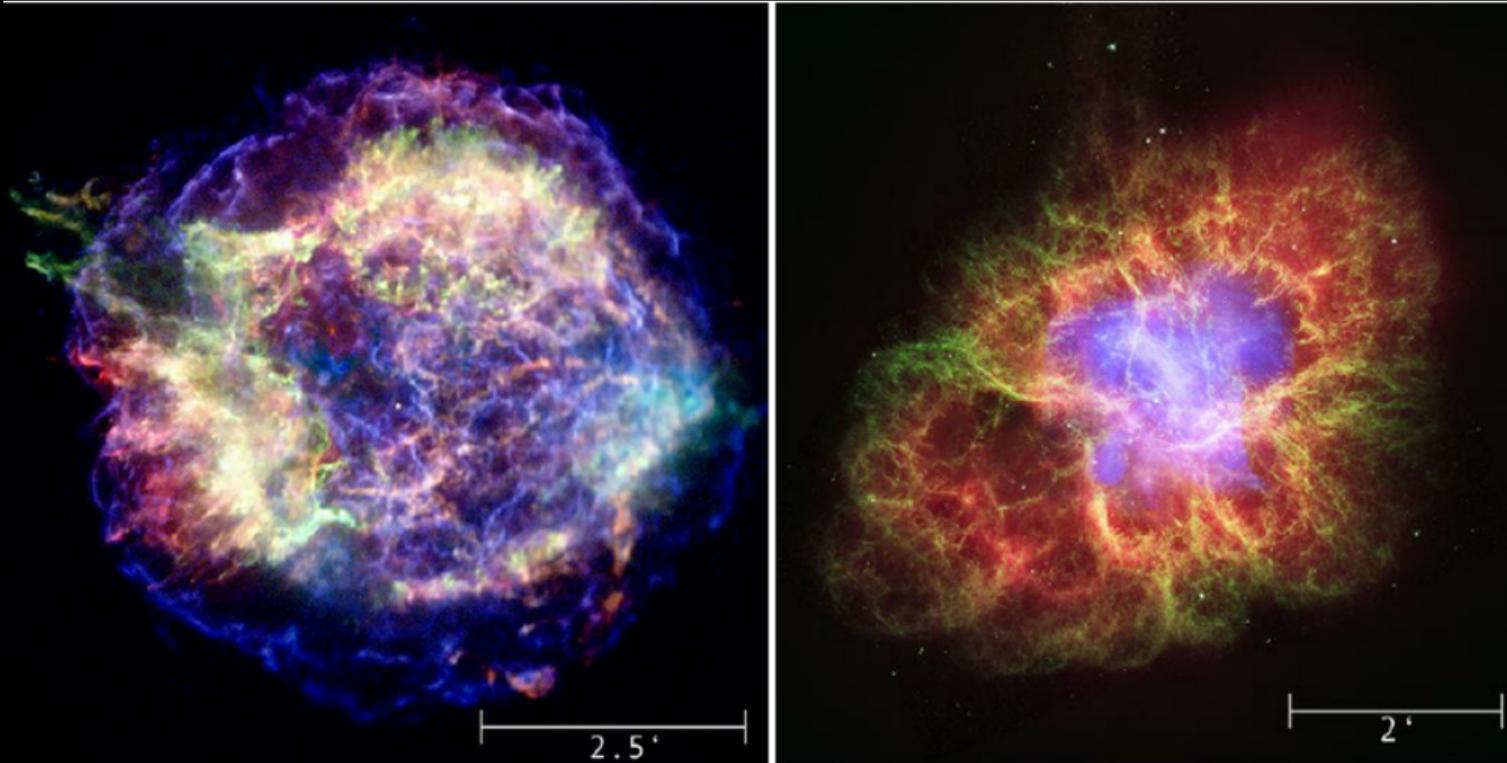
■ Estrellas grandes (de 8 a 20 M_{Sol})



■ Estrellas muy grandes (de 20 a 150 M_{Sol})



Producto Final de la Evolución: Remanente de Supernova

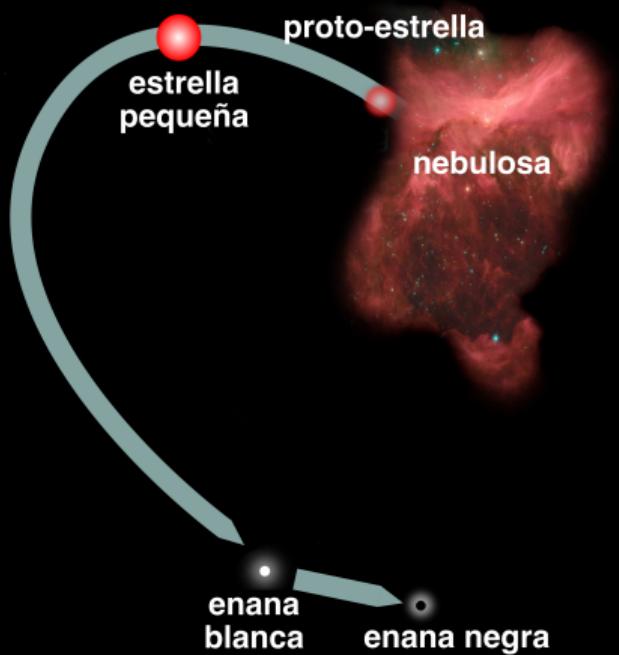


- Como resultado se produce una **remanente de supernova** que con el tiempo se termina dispersando

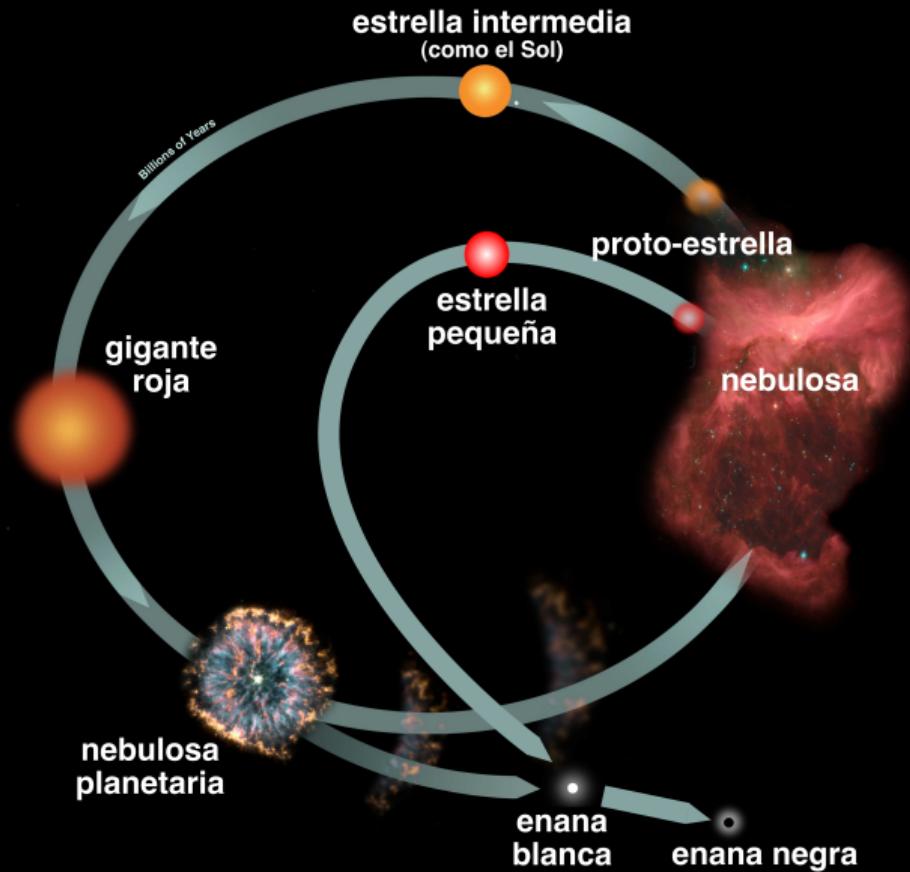
1.4 La vida y muerte de las estrellas

Comparativa de la vida de las estrellas

Comparativa de la vida de las estrellas según su masa



Comparativa de la vida de las estrellas según su masa

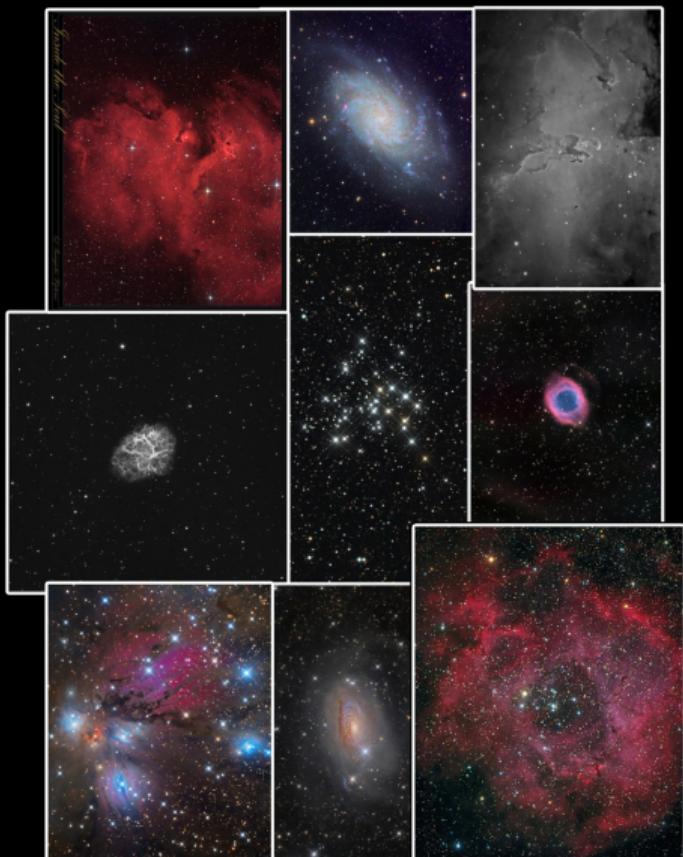


Comparativa de la vida de las estrellas según su masa



2 Nebulosas y cúmulos estelares

¿Cómo clasificamos los objetos del cielo profundo?



Los objetos del cielo profundo galácticos que podemos observar se pueden clasificar en:

- 1** Nebulosas (estructuras difusas)
 - 1** Nebulosas de Emisión
 - 2** Nebulosas de Reflexión
 - 3** Nebulosas Oscuras (o Nebulosas Absorción)
 - 4** Nebulosas Planetarias (o Nebulosa de Eyección)
 - 5** Remanentes de Supernova
- 2** Cúmulos Estelares (acumulaciones de estrellas)

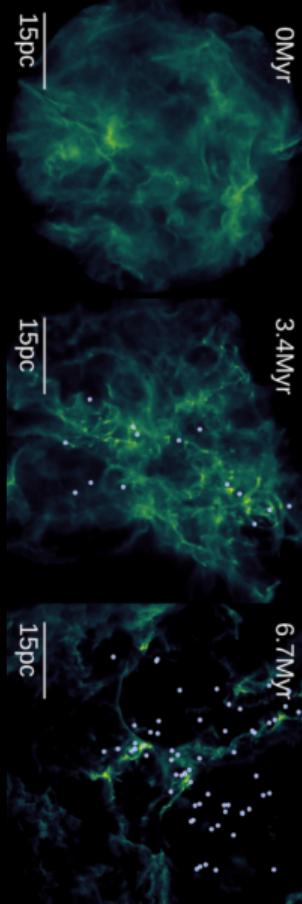
- 1** Cúmulos Abiertos (o Cúmulos Galácticos)
- 2** Cúmulos Globulares

El nacimiento y la extinción de las estrellas es la clave para entender las diferencias entre los distintos tipos de nebulosas y cúmulos estelares!

2 Nebulosas y cúmulos estelares

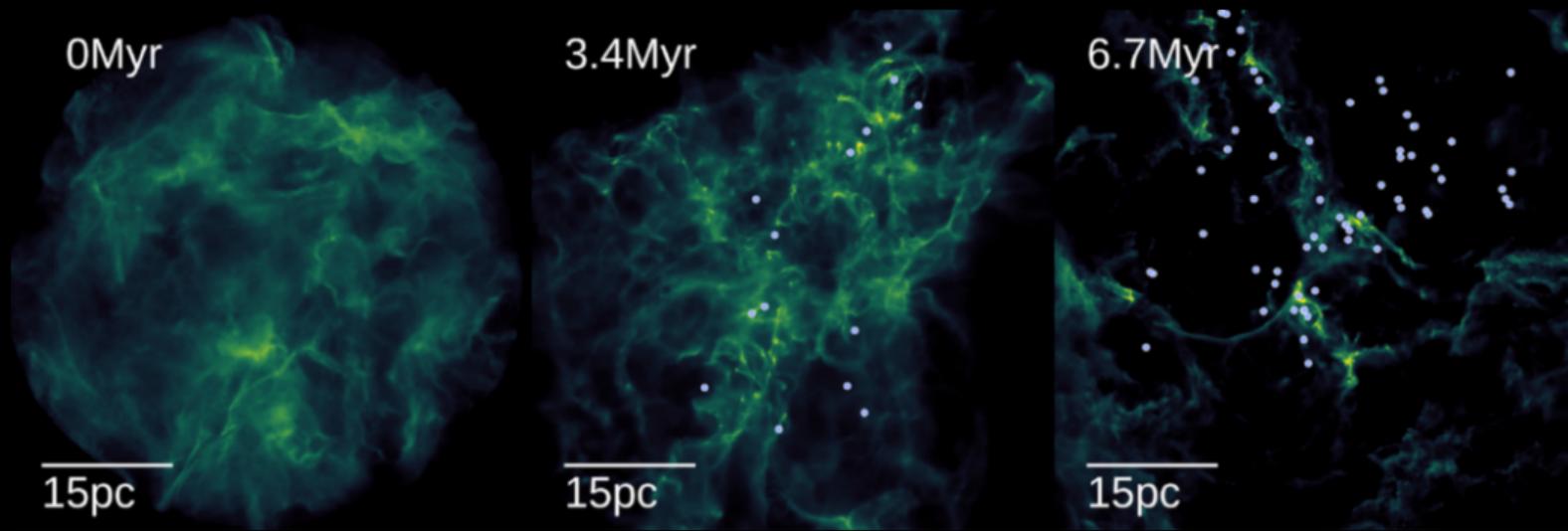
2.1 Objetos relacionados con el nacimiento de estrellas

Nebulosas y cúmulos relacionados con el nacimiento de las estrellas



- La estrellas nacen de grandes nubes de gas y polvo interstelar
 - El gas es fundamentalmente hidrógeno y helio
 - El polvo, mucho más escaso, consiste en partículas sólidas
- De una gran nube de gas y polvo nacen cientos o miles de estrellas al mismo tiempo.
- Los siguientes tipos de nebulosas están directamente relacionados con la nube de gas y polvo:
 - 1 Nebulosas de Emisión (nubes de gas)
 - 2 Nebulosas de Reflexión (nubes de polvo)
 - 3 Nebulosas Oscuras o de Absorción (nubes de polvo)
- Los siguientes tipos de agrupaciones de estrellas nacen al mismo tiempo de la nube de gas y polvo:
 - 1 Cúmulos abiertos
 - 2 Cúmulos globulares

Nebulosas relacionadas con el nacimiento de las estrellas



Tipos de nebulosas que están directamente relacionados con la nube de gas y polvo:

1 Nebulosas de Emisión

- La nube de gas emite luz debido a las estrellas brillantes que están naciendo

2 Nebulosas de Reflexión

- La nube de polvo refleja la luz producida por las estrellas brillantes que están naciendo

3 Nebulosas Oscuras o de Absorción

- La nube de polvo "tapa" (absorbe) la luz de estrellas que están detrás.

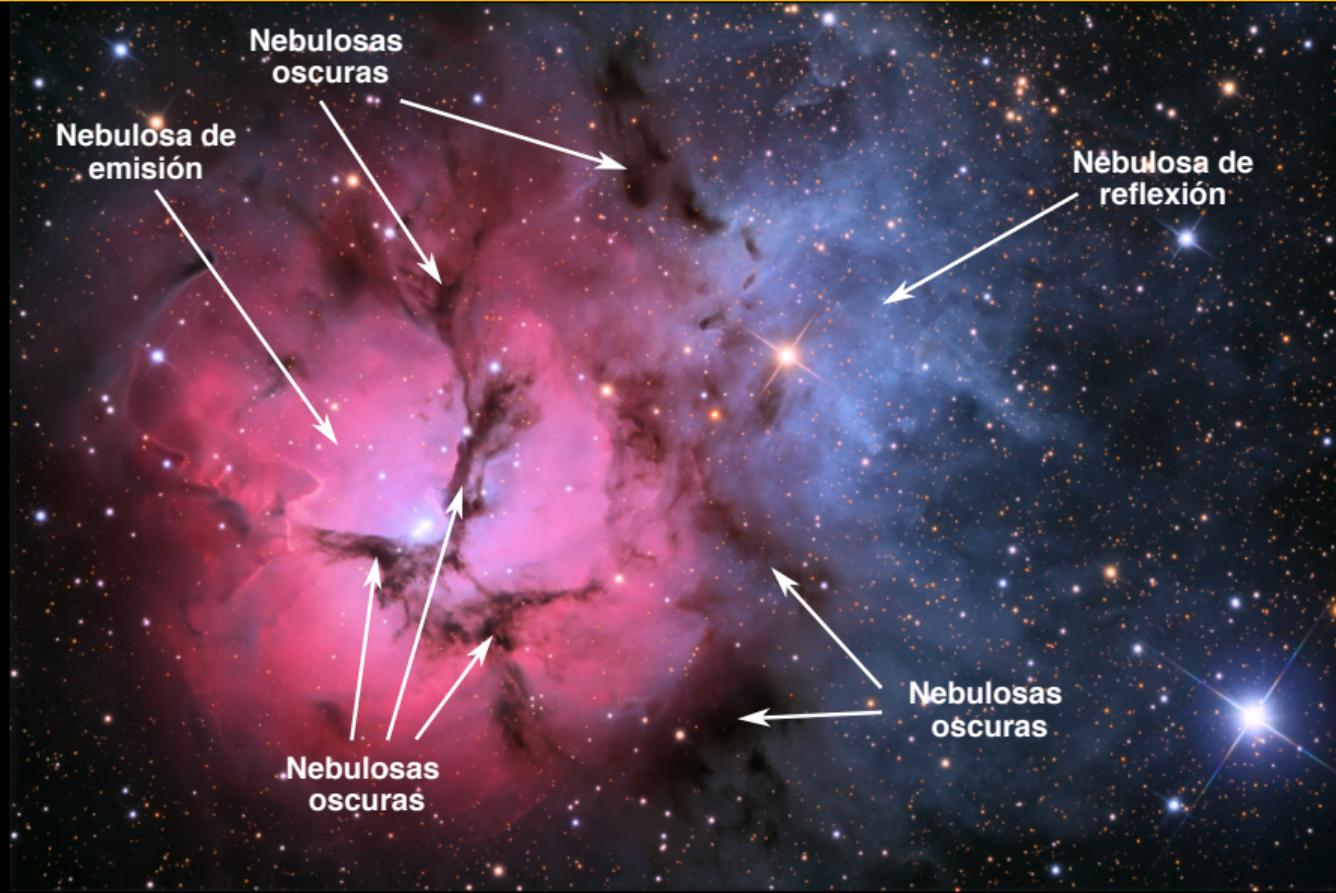
Nebulosas de emisión, reflexión y oscuras



© José Jiménez Priego

Nebulosa de la Cabeza de caballo y Nebulosa de la Llama

Nebulosas de emisión, reflexión y oscuras



Nebulosa Trífida

Regiones de Formación Estelar: **Nebulosas de Emisión**



NGC 896 en Cassiopeia (Nebulosa del Corazón)

Ejemplos de Nebulosas de Reflexión

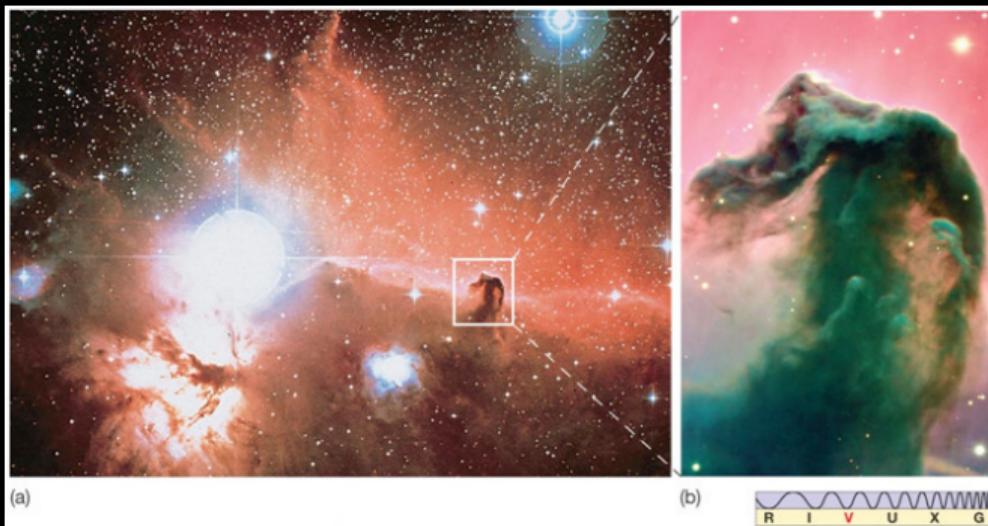


IC 2118; nebulosa "Cabeza de Bruja" (en Eridanus)



Nebulosa de reflexión rodeando el cúmulo abierto de las Pléyades (en Tauro)

Ejemplos de Nebulosas Oscuras



Nebulosa cercana a Antares y Nebulosa de la Cabeza de Caballo

Cúmulos estelares relacionados con el nacimiento de las estrellas



Las estrellas que nacen de una misma nube de gas y polvo permanecen juntas por mucho tiempo debido a la atracción gravitatoria mutua.

Dos tipos de agrupaciones de estrellas:

■ Cúmulos abiertos

- Entre 100 y 10.000 estrellas
- Estructura dispersa
- Ubicados en el disco de la galaxia

■ Cúmulos globulares

- Entre 10.000 y 1.000.000 estrellas
- Estructura muy compacta, con forma esférica
- Ubicados en la parte exterior de la galaxia

Cúmulos abiertos

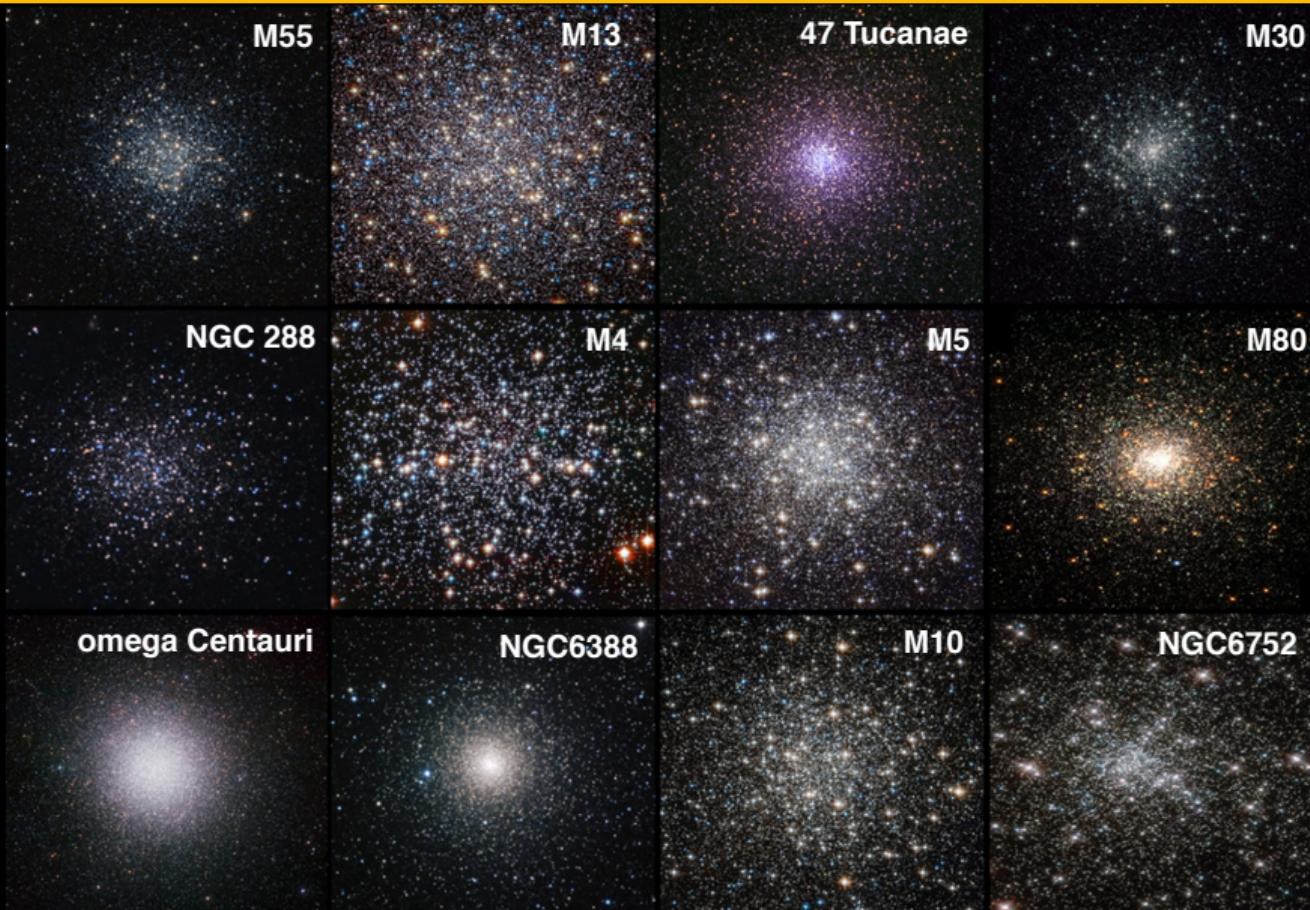


Cúmulo de las Pléyades en Tauro; Messier 45



Doble Cúmulo de Perseo

Cúmulos globulares



2 Nebulosas y cúmulos estelares

2.2 Objetos relacionados con la extinción de estrellas

Nebulosas relacionadas con la extinción de las estrellas

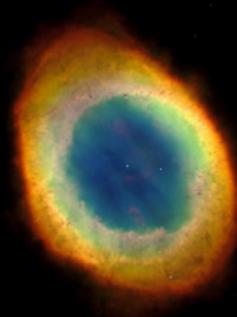
■ Nebulosas Planetarias



Nebulosa de la hélice



Nebulosa del ojo de gato

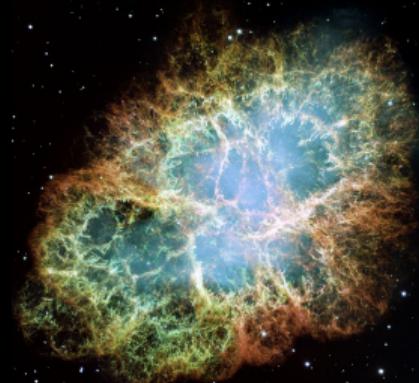


Nebulosa del anillo

■ Remanentes de Supernova



Nebulosa del velo



Nebulosa del cangrejo

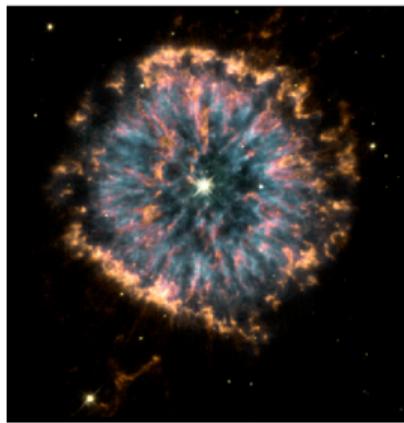
Producto final de la evolución: nebulosas planetarias



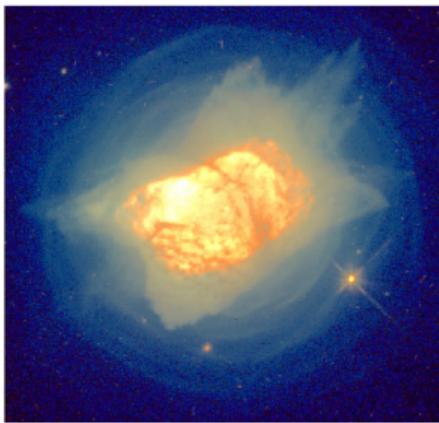
(a)



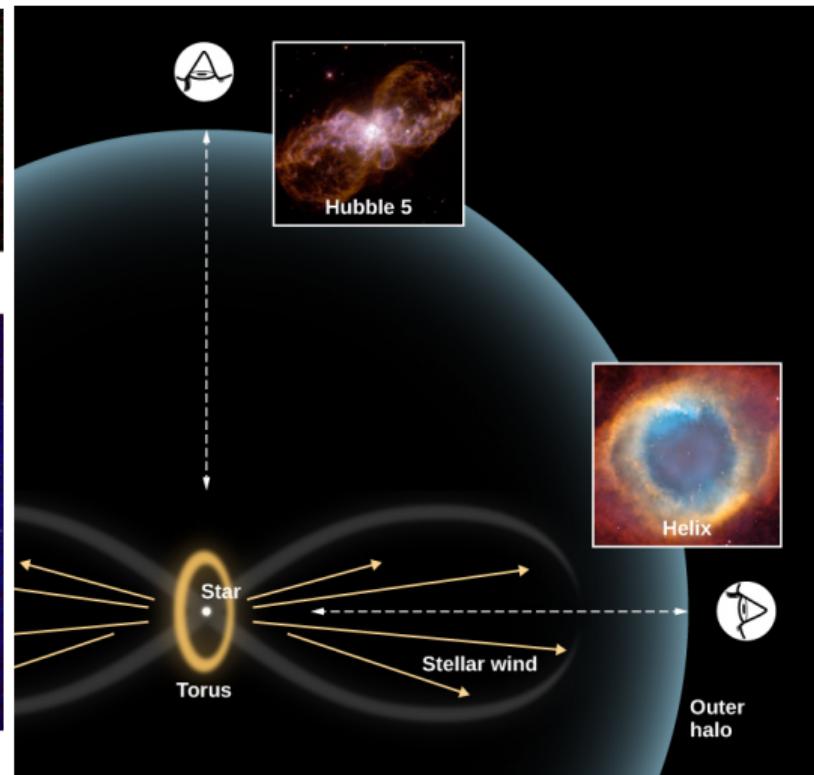
(b)



(c)



(d)

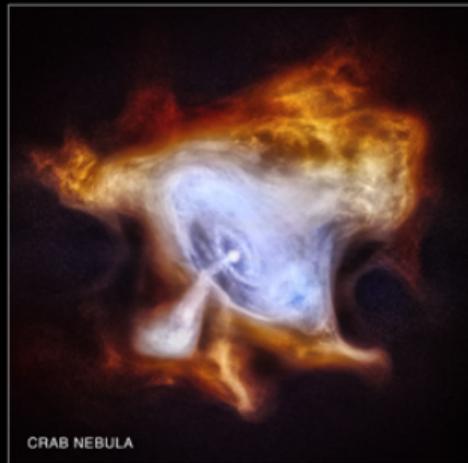


- Las nebulosas planetarias tienen distinto aspecto en función de la perspectiva en las que las observamos desde la Tierra

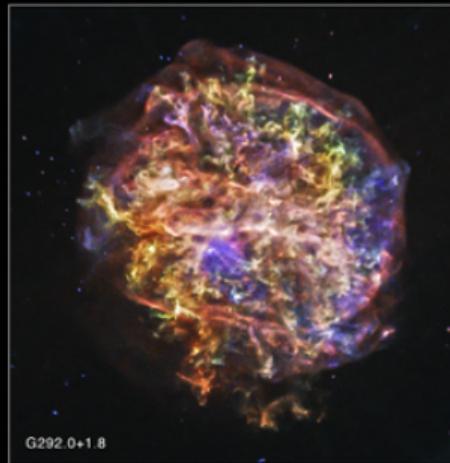
Producto final de la evolución: nebulosas planetarias



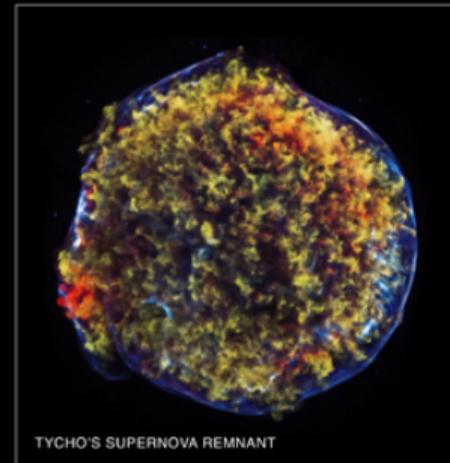
Producto final de la evolución: remanentes de supernova



CRAB NEBULA



G292.0+1.8



TYCHO'S SUPERNOVA REMNANT



3C58

3 Galaxias

3 Galaxias

3.1 Nuestra galaxia la Vía Láctea

La Vía Láctea sobre los telescopios VLT de la ESO (Cerro Paranal, Chile)



Telescopios VLT (Chile) de la ESO

¿Qué es la Vía Láctea?



Foto de Serge Brunier (ESO)

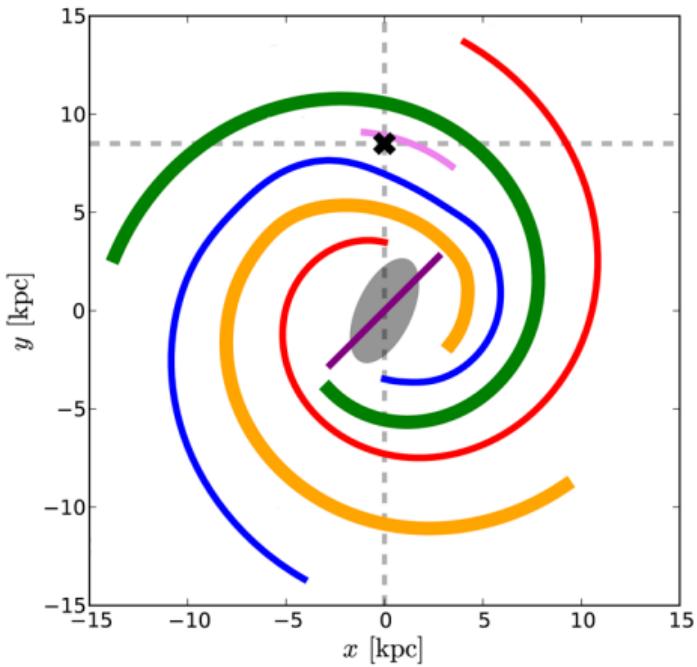
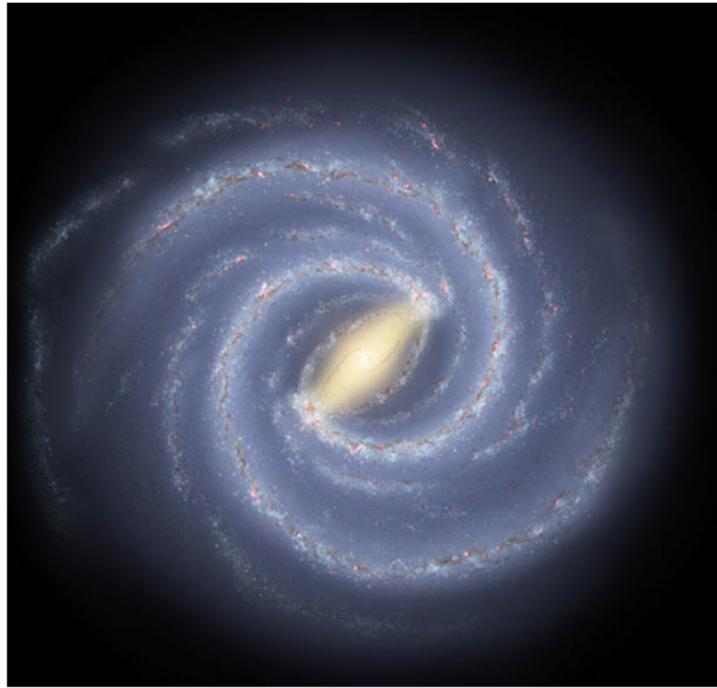
- La Vía Láctea es una zona del cielo donde hay una tenue y difusa luminosidad. Esta zona es alargada, cruzando prácticamente todo el cielo, y muy irregular.
- La zona de luminosidad se ensancha cerca de las constelaciones de Sagitario y Escorpio.

La Vía Láctea es una galaxia con forma de espiral



- Las estrellas en el disco están mayormente ubicadas sobre los brazos de una espiral
- Los brazos se juntan cerca del centro de la galaxia

La Vía Láctea posee 4 brazos en la espiral

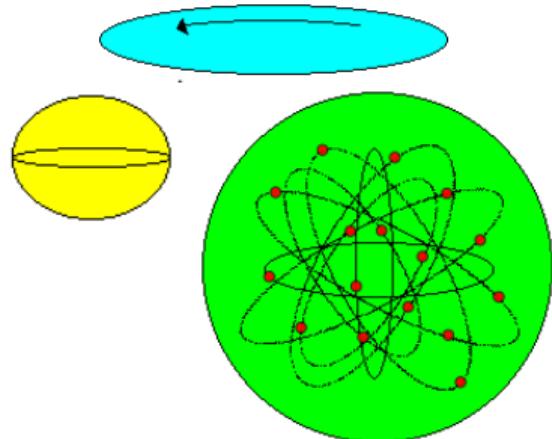


- 2+2 Brazos
 - **2 Brazos Mayores** (verde y naranja)
 - **2 Brazos Menores** (rojo y azul)
- Los brazos se juntan cerca del centro de la galaxia

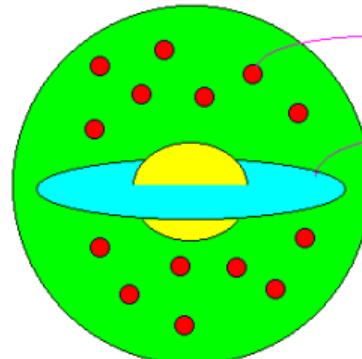
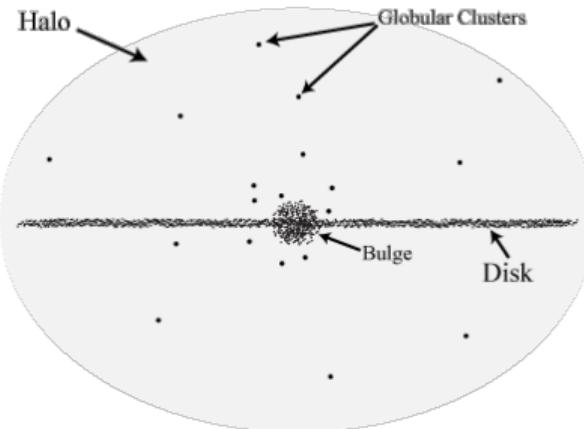
Estructuras de la Vía Láctea

Tres partes principales:

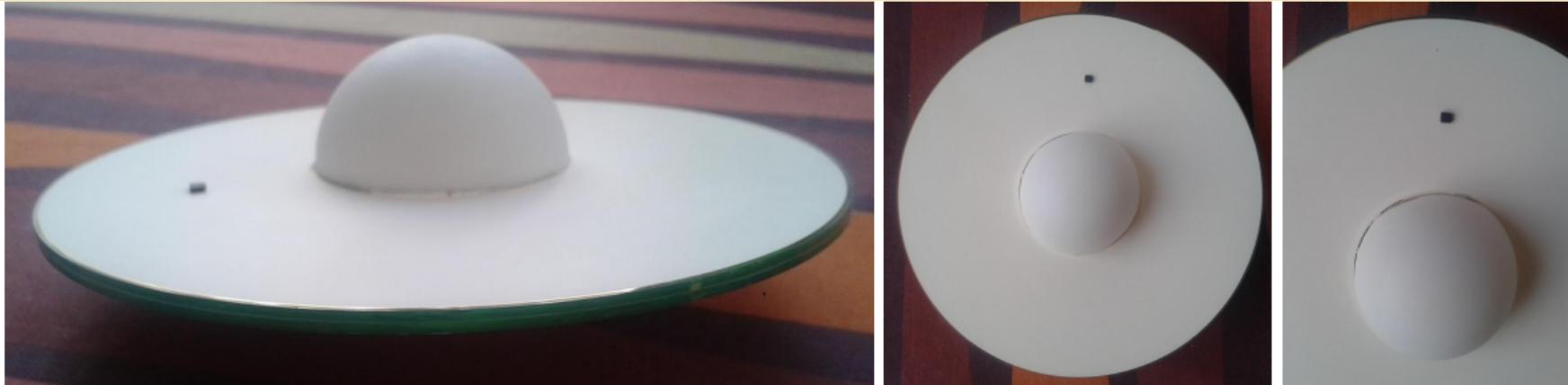
- 1 Disco** (estrellas jóvenes y de mediana edad + medio interestelar)
- 2 Bulbo** (estrellas viejas)
- 3 Halo** (estrellas viejas)



=

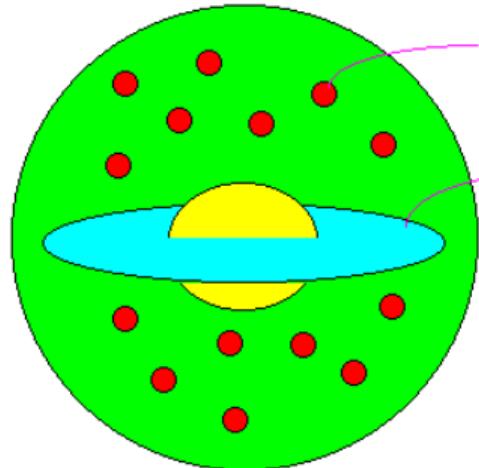


Un Modelo a escala de la Vía Láctea



Escala: 1 mm = 1000 ly

- **Disco:** 2 CDs (100 mm de diámetro y 2 mm de espesor)
- **Bulbo:** Una pelota de ping-pong (20 mm de diámetro)
- **Halo:** Una bola imaginaria "de gelatina" que envuelve los CDs y contiene ~150 granos de pimienta.
- Un cubo de 1 mm de lado (contiene casi todas las estrellas visibles a simple vista!)



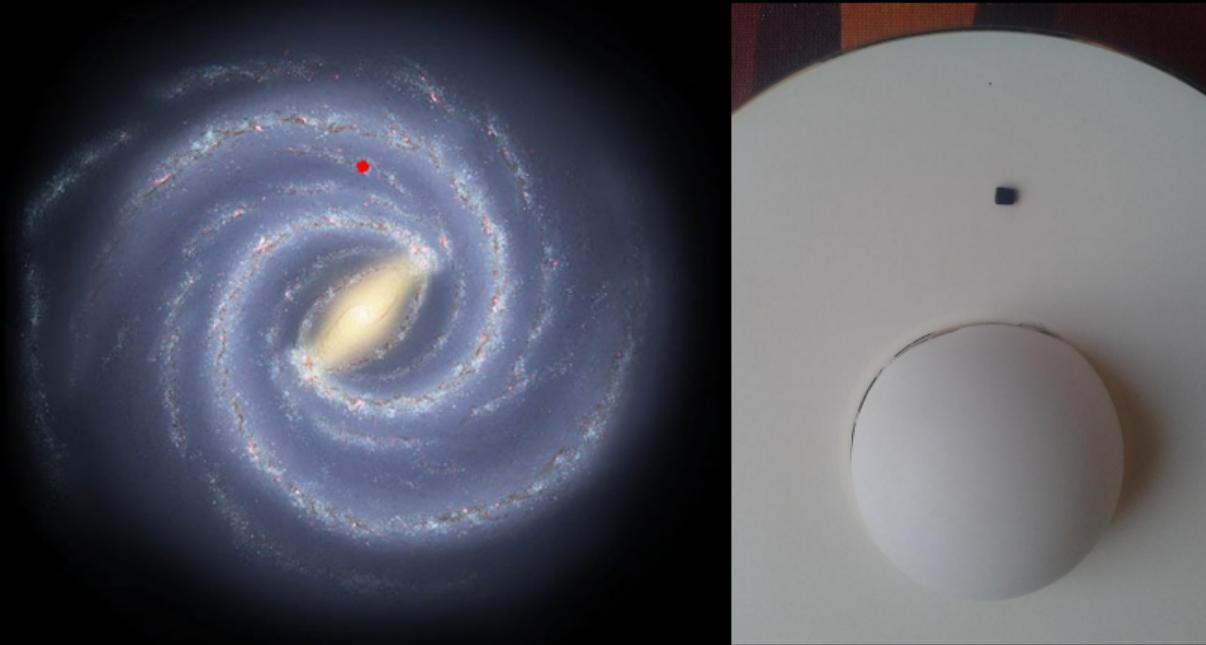
Tamaño de la galaxia



¿Qué tamaño tiene el disco de la Vía Láctea?

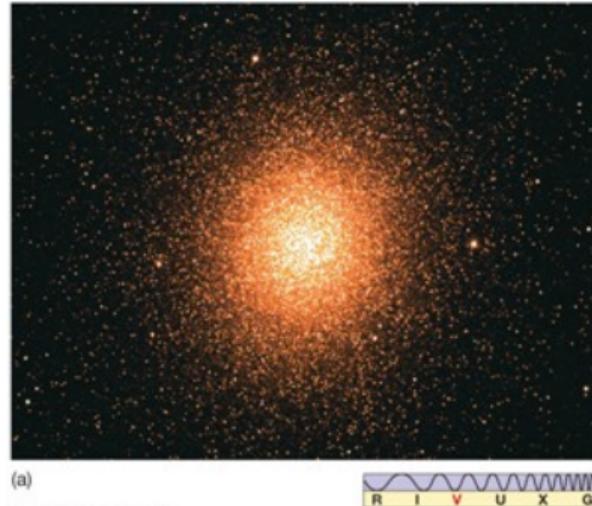
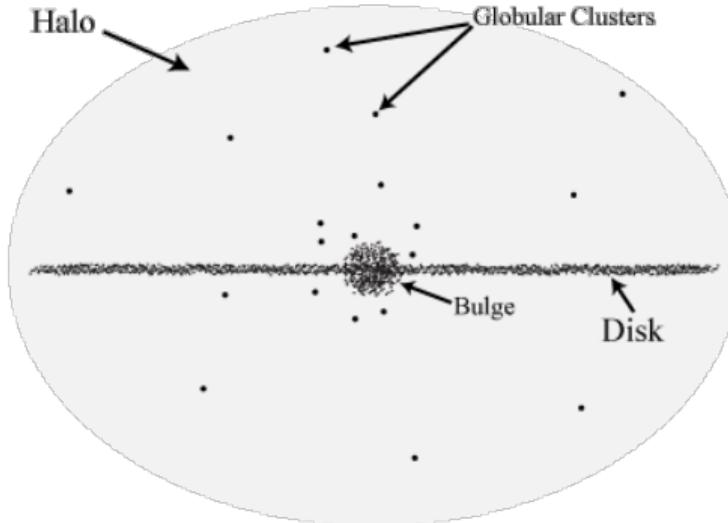
- El disco tiene 100.000 años-luz (ly) de diámetro y 2.000 años-luz (ly) de grosor
- En nuestro modelo (Escala: 1.000 ly = 1 mm):
 - Diámetro: 100.000 ly = 100 mm
 - Grosor: 2.000 ly = 2 mm

Nuestro rincón en la galaxia



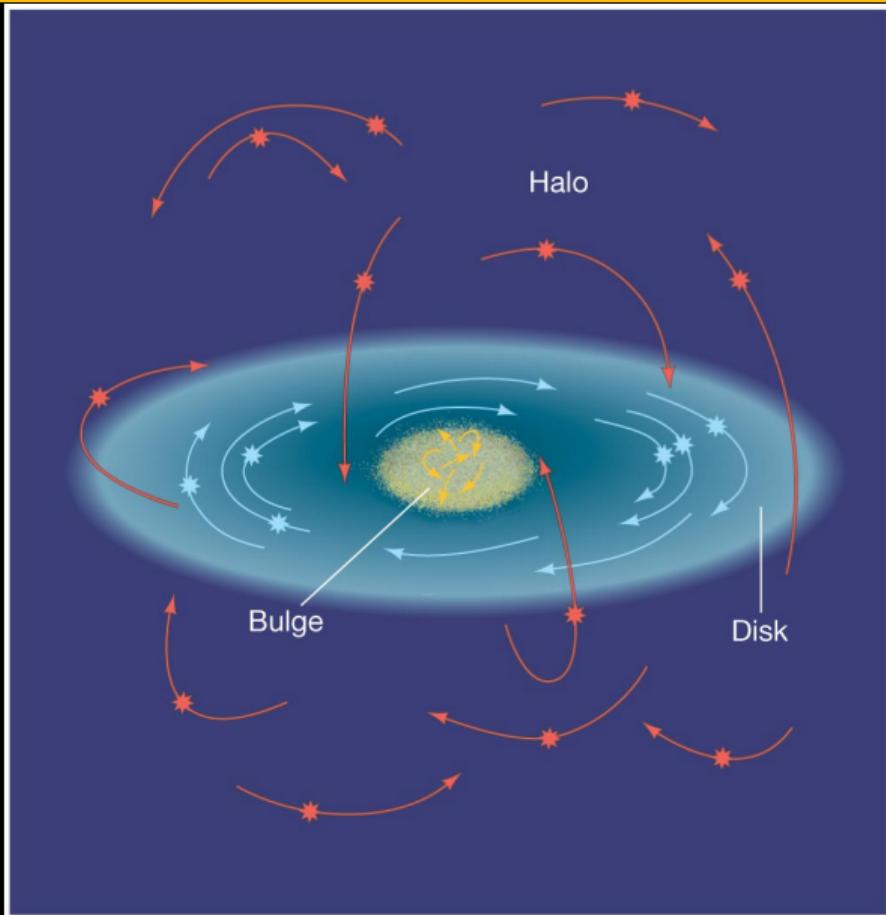
- El sol está ubicado a ~ 25.000 ly del centro de la galaxia (en el modelo el sol está a 25 mm del centro del disco)
- El sol da una vuelta a la galaxia cada ~ 250 millones de años (\equiv "año galáctico").
 - Desde su nacimiento el sol ha rotado ~ 20 veces

El halo de la galaxia contiene más de cien cúmulos globulares



- El halo estelar está compuesto por estrellas viejas y rojas
- Prácticamente la totalidad de estas estrellas está contenida en alguno de los más de 150 cúmulos globulares que posee nuestra galaxia
- Fuera de los cúmulos globulares la densidad de estrellas es muy baja
- Los cúmulos globulares contienen entre (entre 20,000 y 1 millón de estrellas) y orbitan el centro de la galaxia

Movimiento de las estrellas en el disco y los cúmulos globulares



- Las órbitas de las estrellas en el disco son todas en la misma dirección y en el plano del disco galáctico
- Las órbitas de las estrellas en el halo y bulbo no tienen simetría cilíndrica.

3 Galaxias

3.2 Otras galaxias

Clasificación de Galaxias



Barred Spiral



Irregular



Spiral



Peculiar

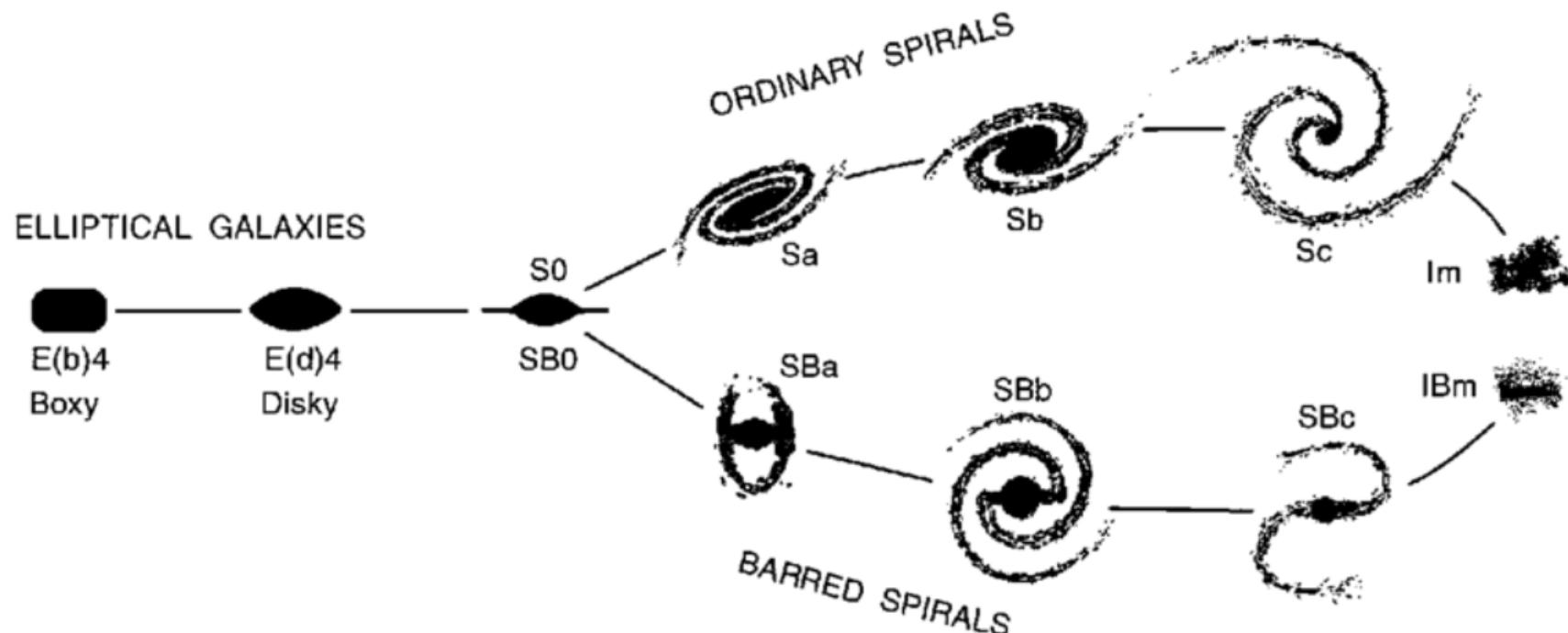


Elliptical



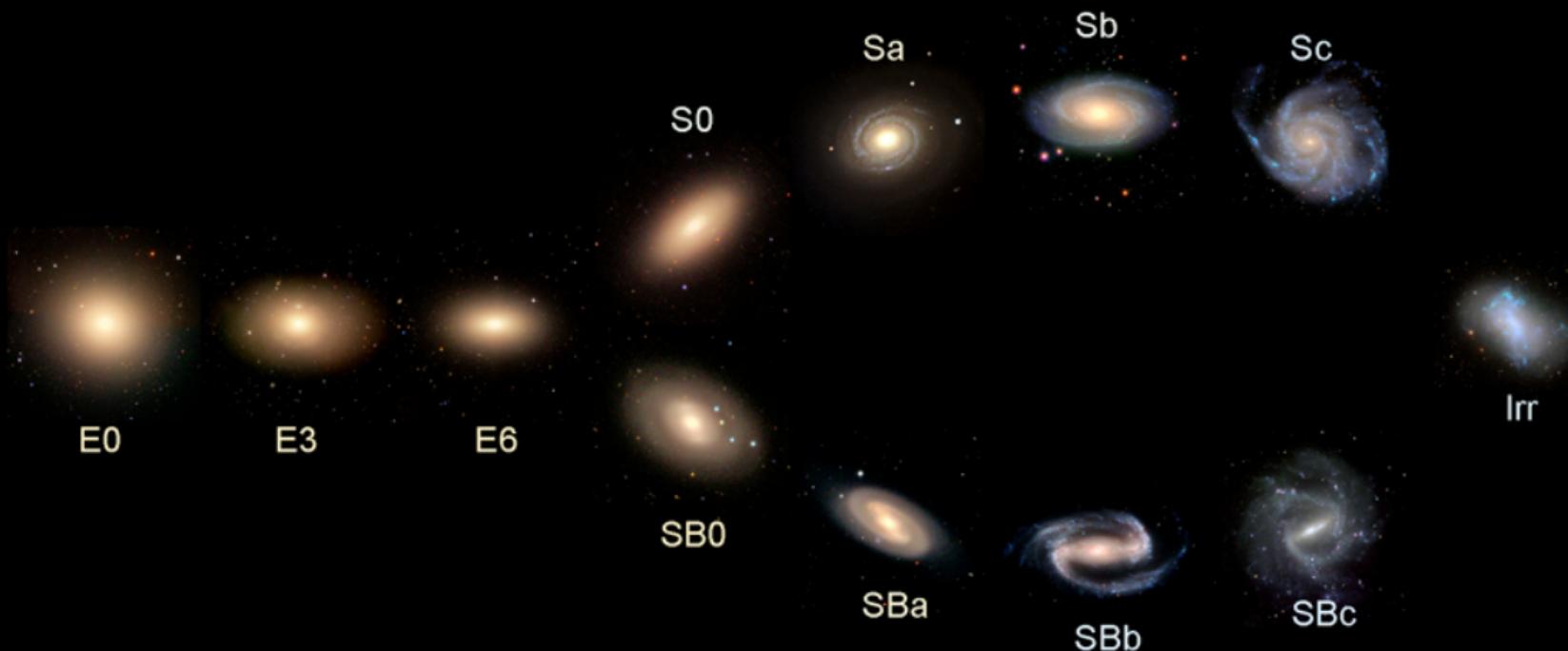
Lenticular

Secuencia de Hubble (Diagrama Diapasón)



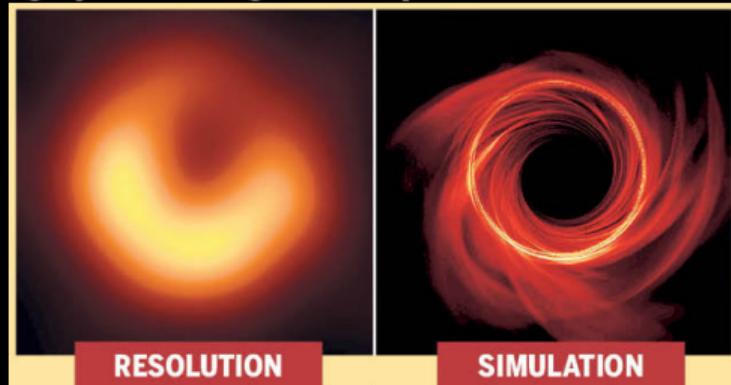
Secuencia de Hubble (Diagrama Diapasón)

Hubble's Galaxy Classification Scheme

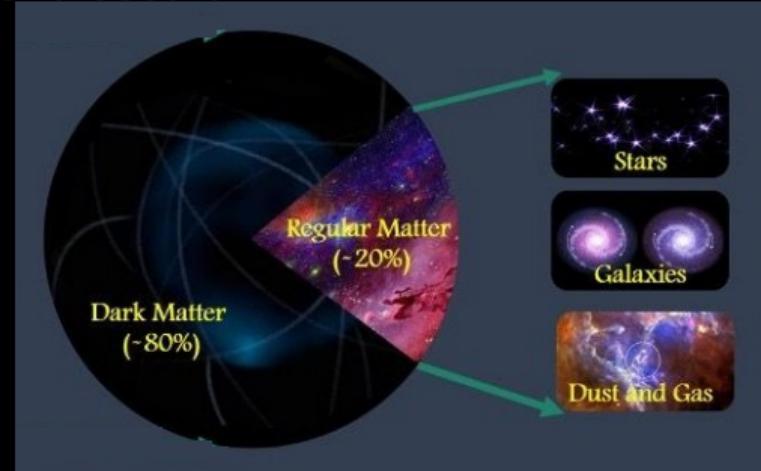


Agujeros negros supermasivos y materia oscura en las galaxias

Agujeros negros supermasivos



Materia oscura

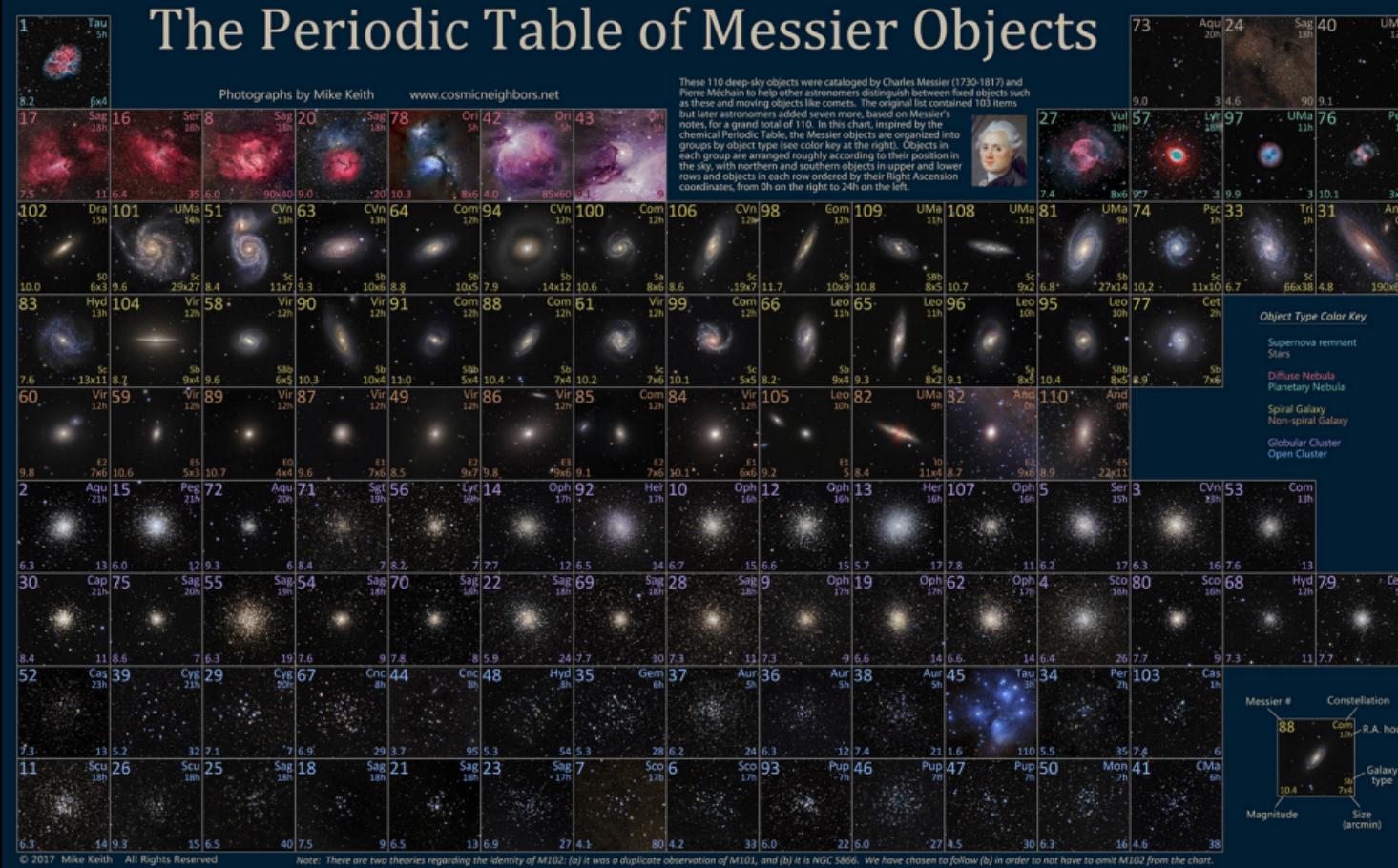


- Casi todas las galaxias estudiadas parecen tener un **agujero negro supermasivo** en su centro
- Las galaxias parecen estar rodeadas de materia que no emite luz: **materia oscura**
 - Las galaxias están compuestas de: materia oscura $\sim 80\%$ y materia "normal" $\sim 20\%$
 - Actualmente no sabemos que tipo de partículas componen la materia oscura!

4 Catálogos de objetos del cielo profundo

Objetos del cielo profundo con telescopios: catálogo Messier

The Periodic Table of Messier Objects



Objetos del cielo profundo con telescopios: catálogo Messier

