

ASTRONOMÍA Y CIENCIA DE DATOS: DE LAS ESTRELLAS A LOS NÚMEROS

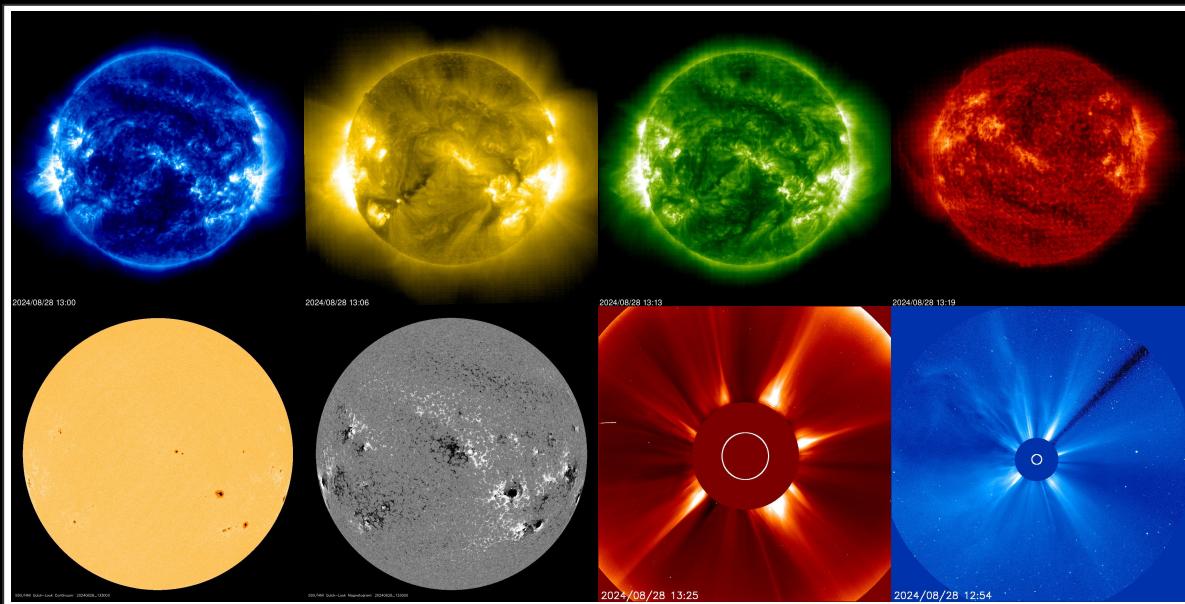
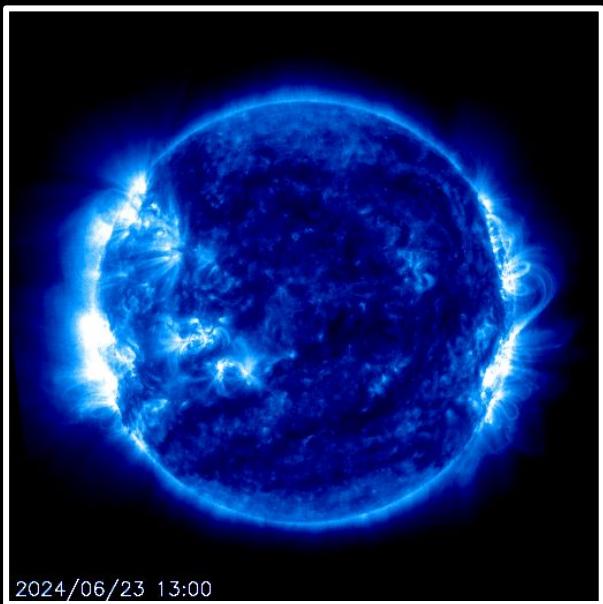
Clase 5: El Sistema Solar y las Estrellas



¿Qué cuerpos conforman
el Sistema solar?

SOL

Nuestra estrella



Observaciones continuas

... y en diferentes colores (bandas) y sectores

PLANETAS

Rocosos y Gaseosos



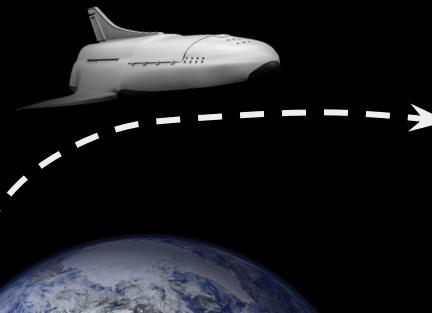
Mercurio



Venus



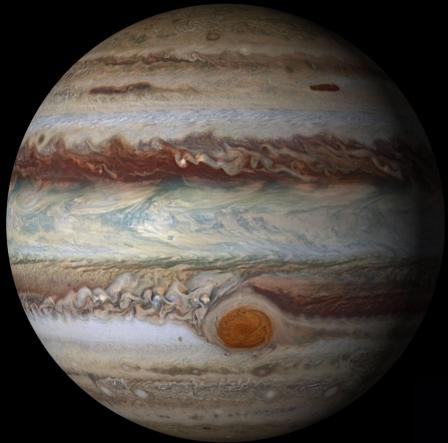
Tierra



Marte

PLANETAS

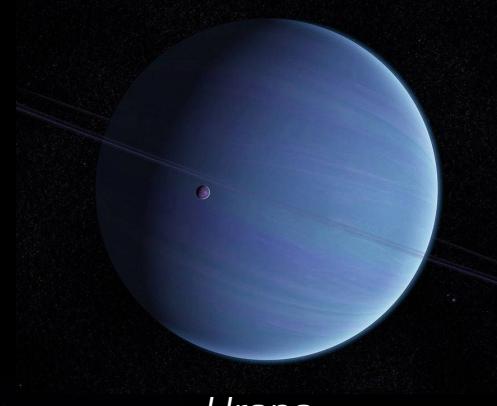
*Rocosos y **Gaseosos***



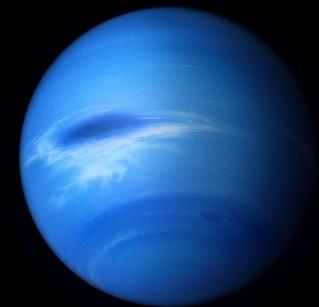
Júpiter



Saturno



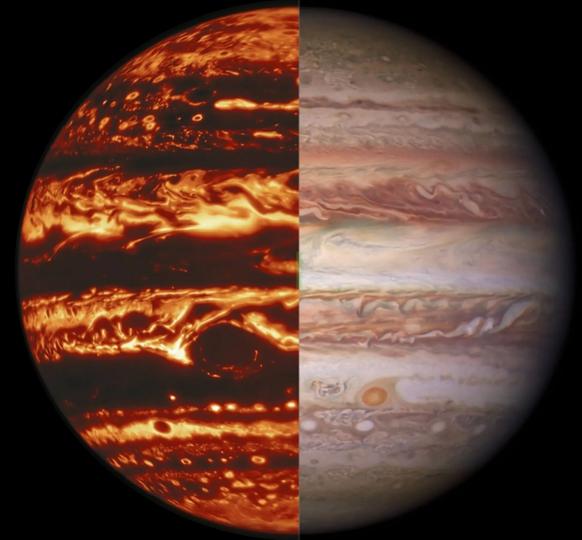
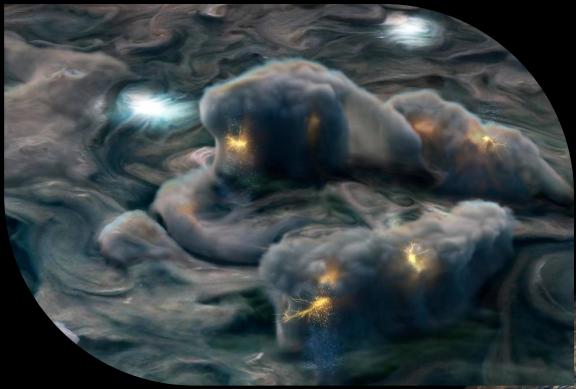
Urano



Neptuno

PLANETAS

*Rocosos y **Gaseosos***



LUNAS

¿Otros mundos con vida?

MOONS

OF OUR SOLAR SYSTEM



Ganymede
Jupiter



Titan
Saturn



Callisto
Jupiter



Io
Jupiter



Moon
Earth



Europa
Jupiter



Triton
Neptune



Titania
Uranus



Rhea
Saturn



Oberon
Uranus



Iapetus
Saturn



Charon
Pluto



Umbriel
Uranus



Ariel
Uranus



Dione
Saturn



Tethys
Saturn



Enceladus
Saturn



Miranda
Uranus

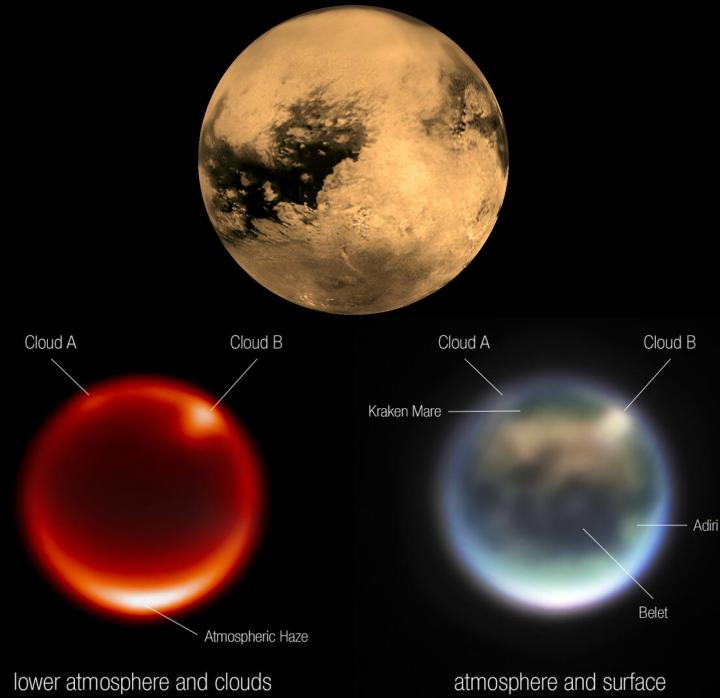


Proteus
Neptune



Mimas
Saturn

Los verdaderos protagonistas de la búsqueda de vida extraterrestre
Titán



LUNAS

¿Otros mundos con vida?

MOONS

OF OUR SOLAR SYSTEM



Ganymede
Jupiter



Titan
Saturn



Callisto
Jupiter



Io
Jupiter



Moon
Earth



Europa
Jupiter



Triton
Neptune



Titania
Uranus



Rhea
Saturn



Oberon
Uranus



Iapetus
Saturn



Charon
Pluto



Umbriel
Uranus



Ariel
Uranus



Dione
Saturn



Tethys
Saturn



Enceladus
Saturn



Miranda
Uranus



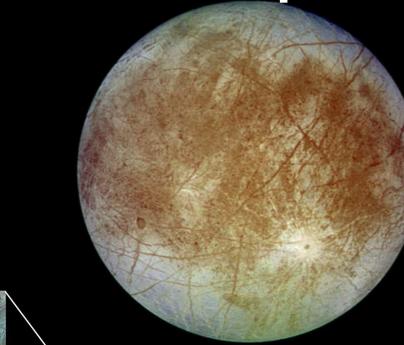
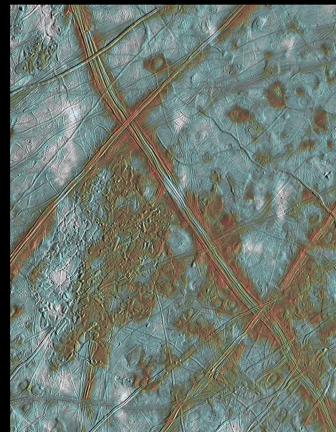
Proteus
Neptune



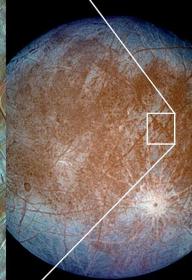
Mimas
Saturn

Los verdaderos protagonistas de la búsqueda de vida extraterrestre

Europa

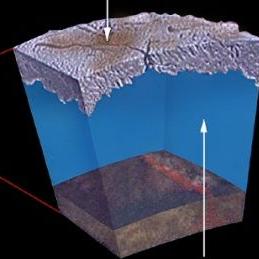


Metallic Core



Rocky Interior
H₂O Layer

Ice Covering



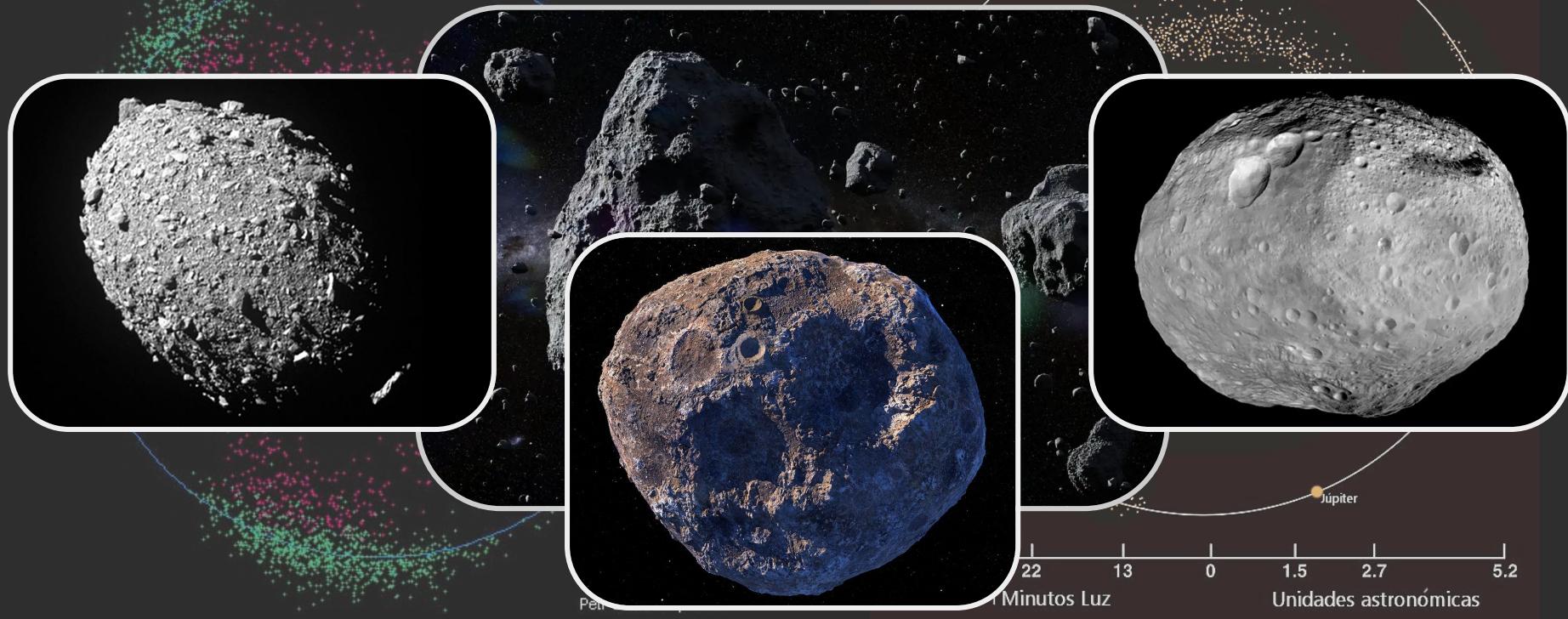
Liquid Ocean Under Ice

CINTURÓN DE ASTEROIDES (Kupier)

con muchas roquitas y una historia que contar

Date: 2005/04/27

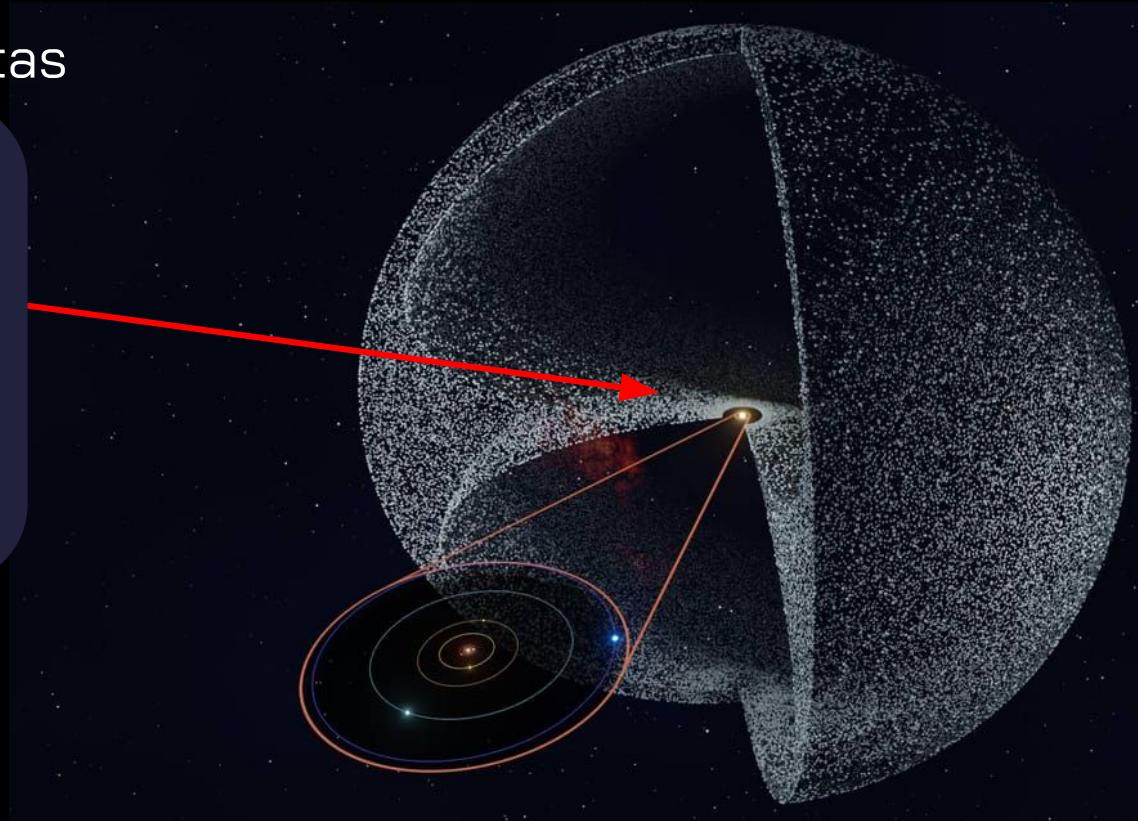
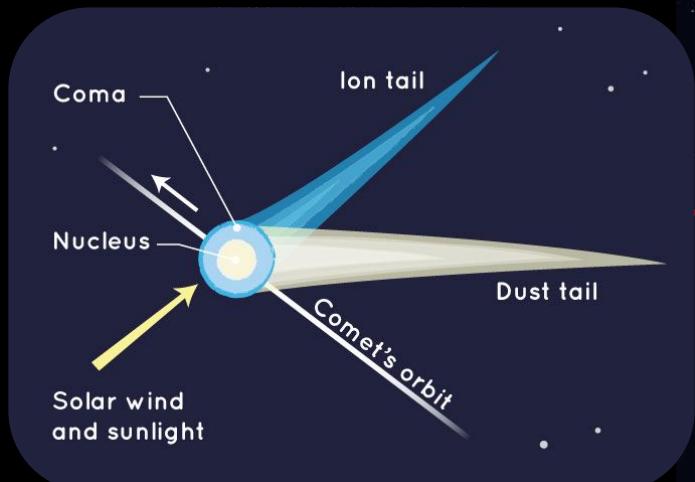
Principal Fuente de Asteroides



NUBE DE OORT

límite del sistema solar

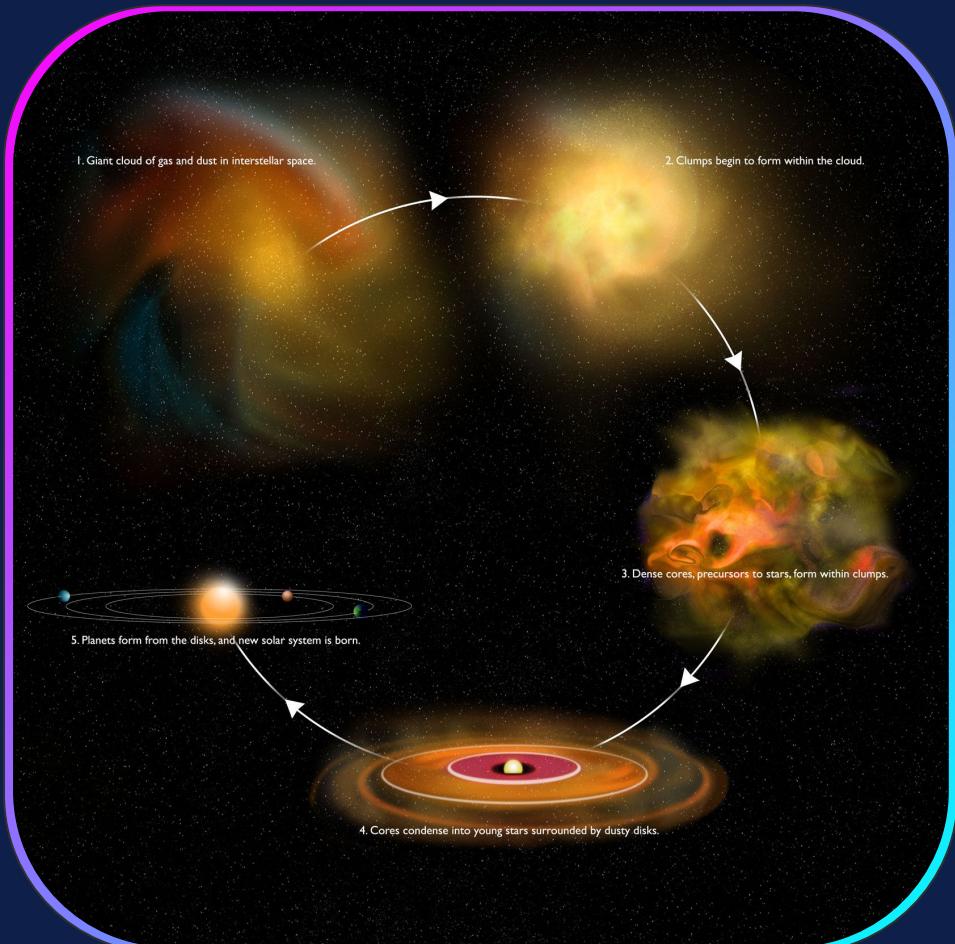
Principal Fuente de Cometas



FORMACIÓN ESTELAR Y PLANETARIA

A escalas cosmológicas, son proceso simultáneos.

Se cree que los planetas se forman en las últimas etapas de la formación estelar.



FORMACIÓN ESTELAR Y PLANETARIA

A escalas cosmológicas, son proceso simultáneos.

Se cree que los planetas se forman en las últimas etapas de la formación estelar.



FORMACIÓN ESTELAR Y PLANETARIA

A escalas cosmológicas, son proceso simultáneos.

Se cree que los planetas se forman en las últimas etapas de la formación estelar.



FORMACIÓN ESTELAR Y PLANETARIA

A escalas cosmológicas, son
proceso simultáneos

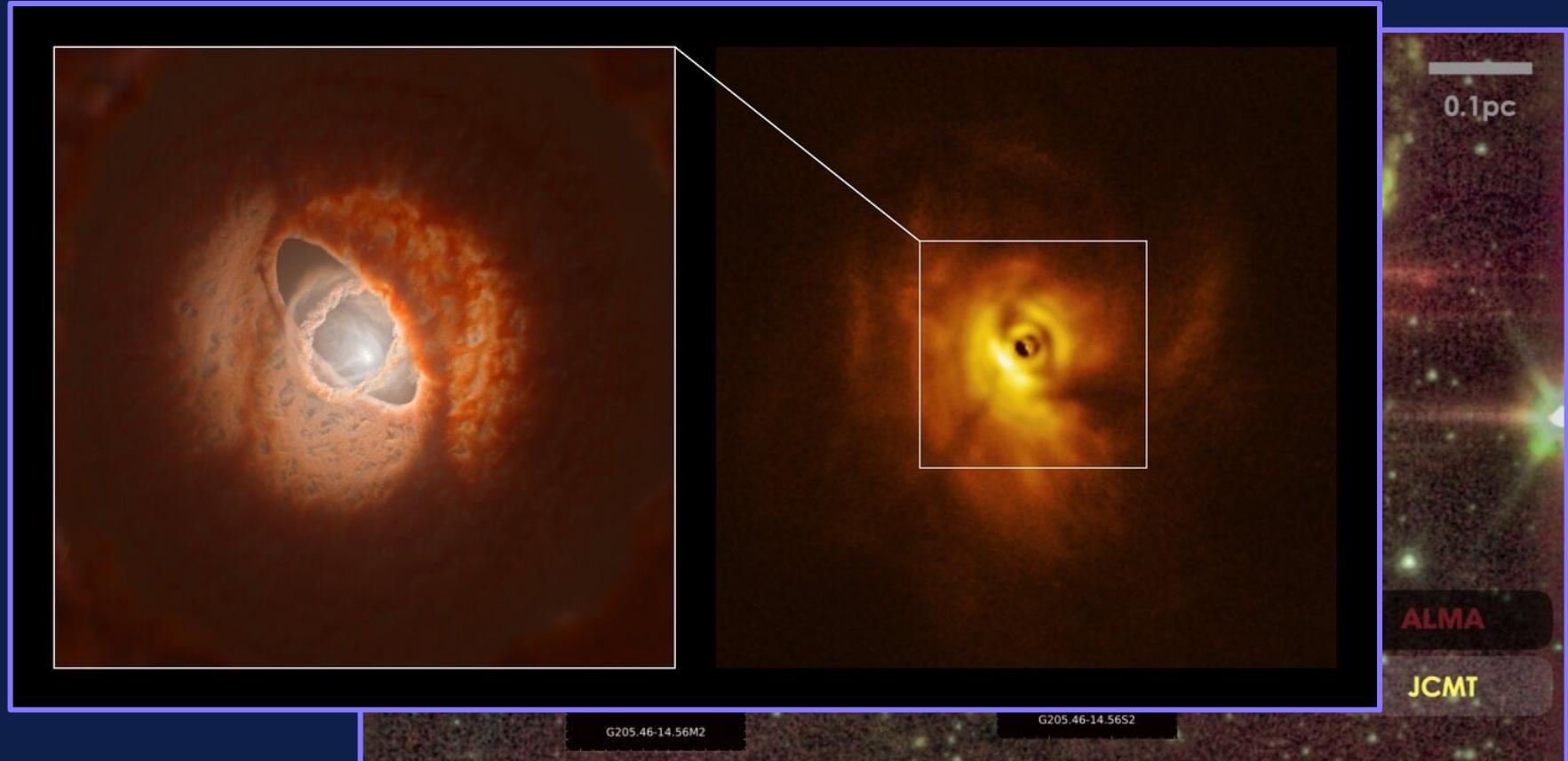
Se cree que los
en las últimas
formación estelar.

**LAS ESTRELLAS NO SON
SISTEMAS AISLADOS!**



FORMACIÓN ESTELAR Y PLANETARIA

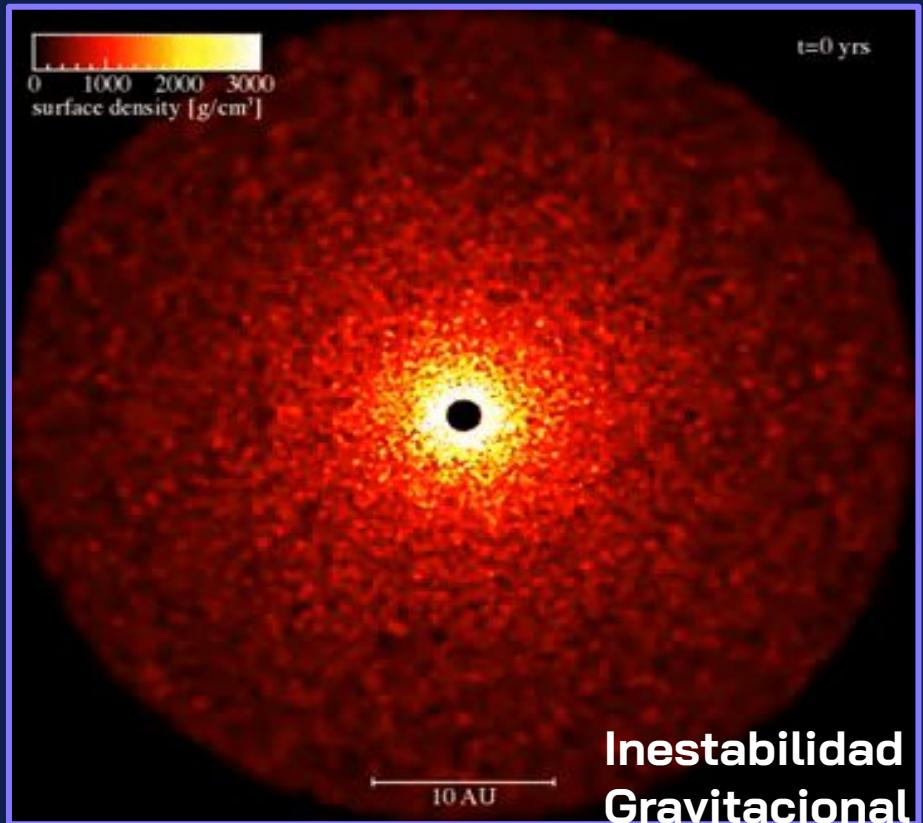
Una mirada más realista



CAMPOS DE INVESTIGACIÓN PLANETARIA

Formación planetaria y discos protoplanetarios

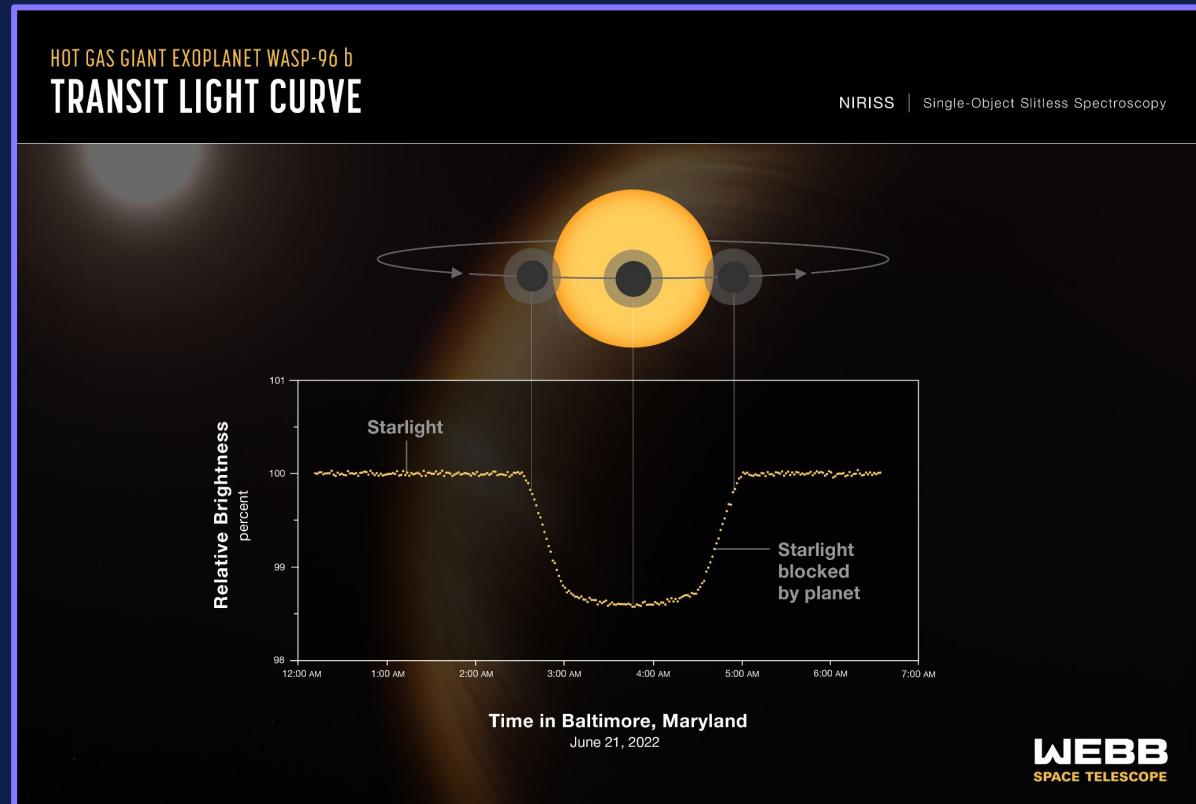
- Conservación de momento angular
- Crecimiento de planetas
- Evolución del disco protoplanetario
- Modelos hidrodinámicos (Simulaciones numéricas)



CAMPOS DE INVESTIGACIÓN PLANETARIA

Sistema solar u exoplanetas

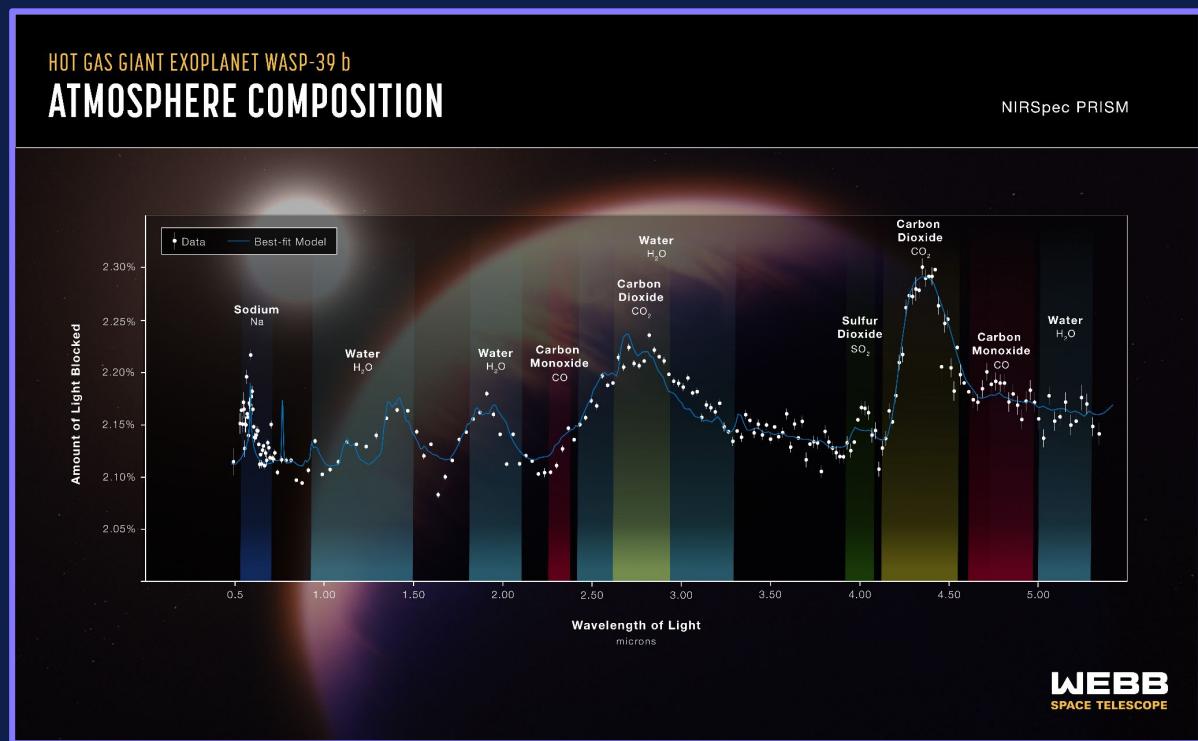
- Astrobiología
- Detección de exoplanetas
- Atmósferas planetarias



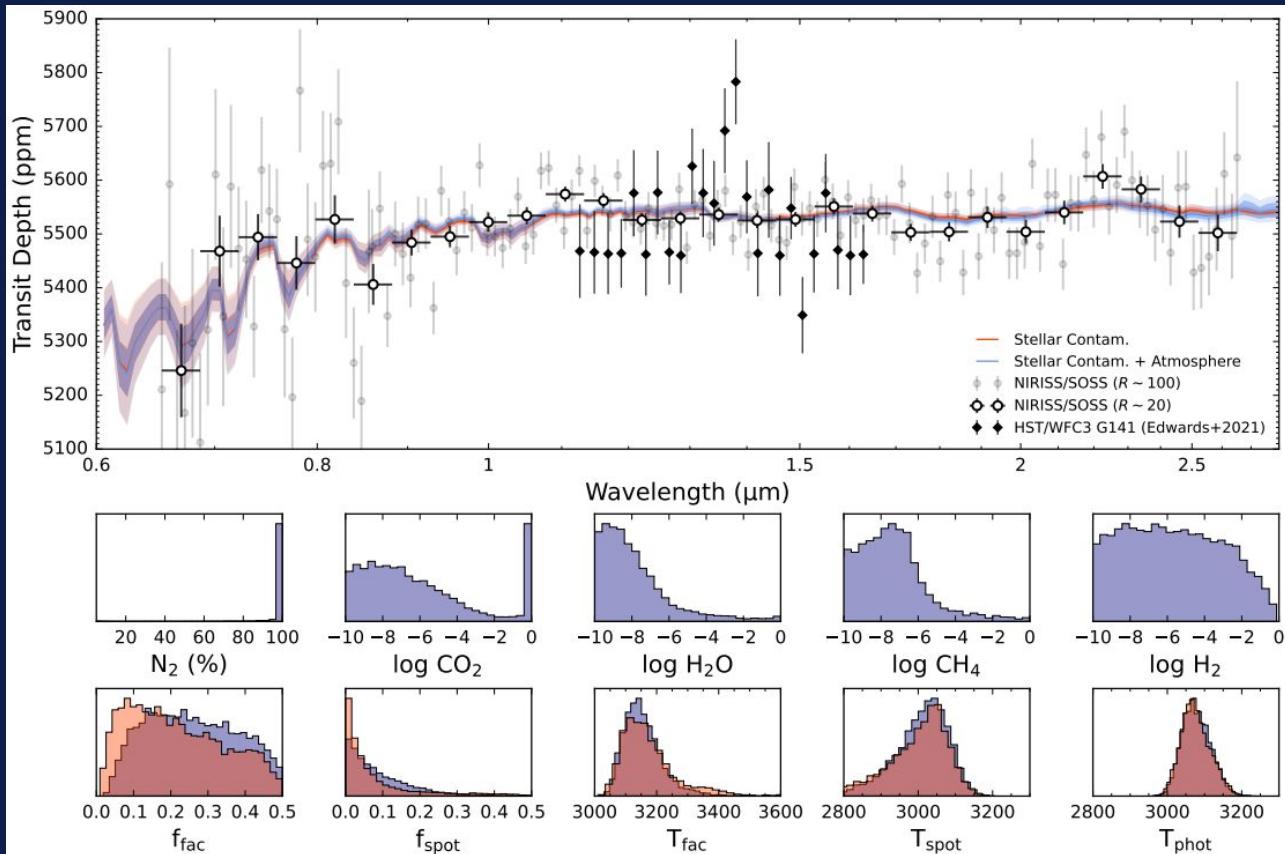
CAMPOS DE INVESTIGACIÓN PLANETARIA

Sistema solar u exoplanetas

- Astrobiología
- Detección de exoplanetas
- Atmósferas planetarias



ATMÓSFERAS PLANETARIAS Y ASTROBIOLOGÍA

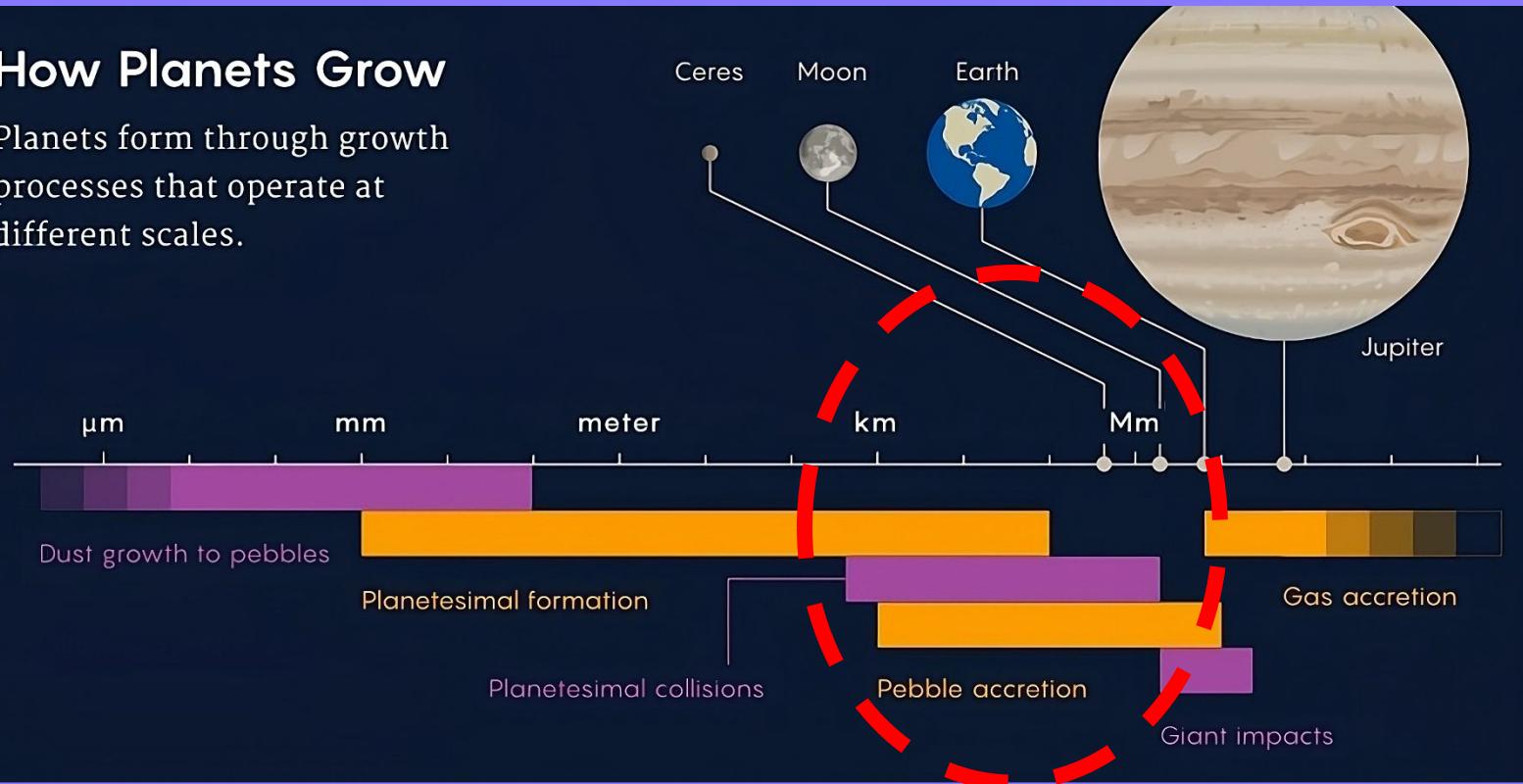


Credit: Cadieux et al. 2024

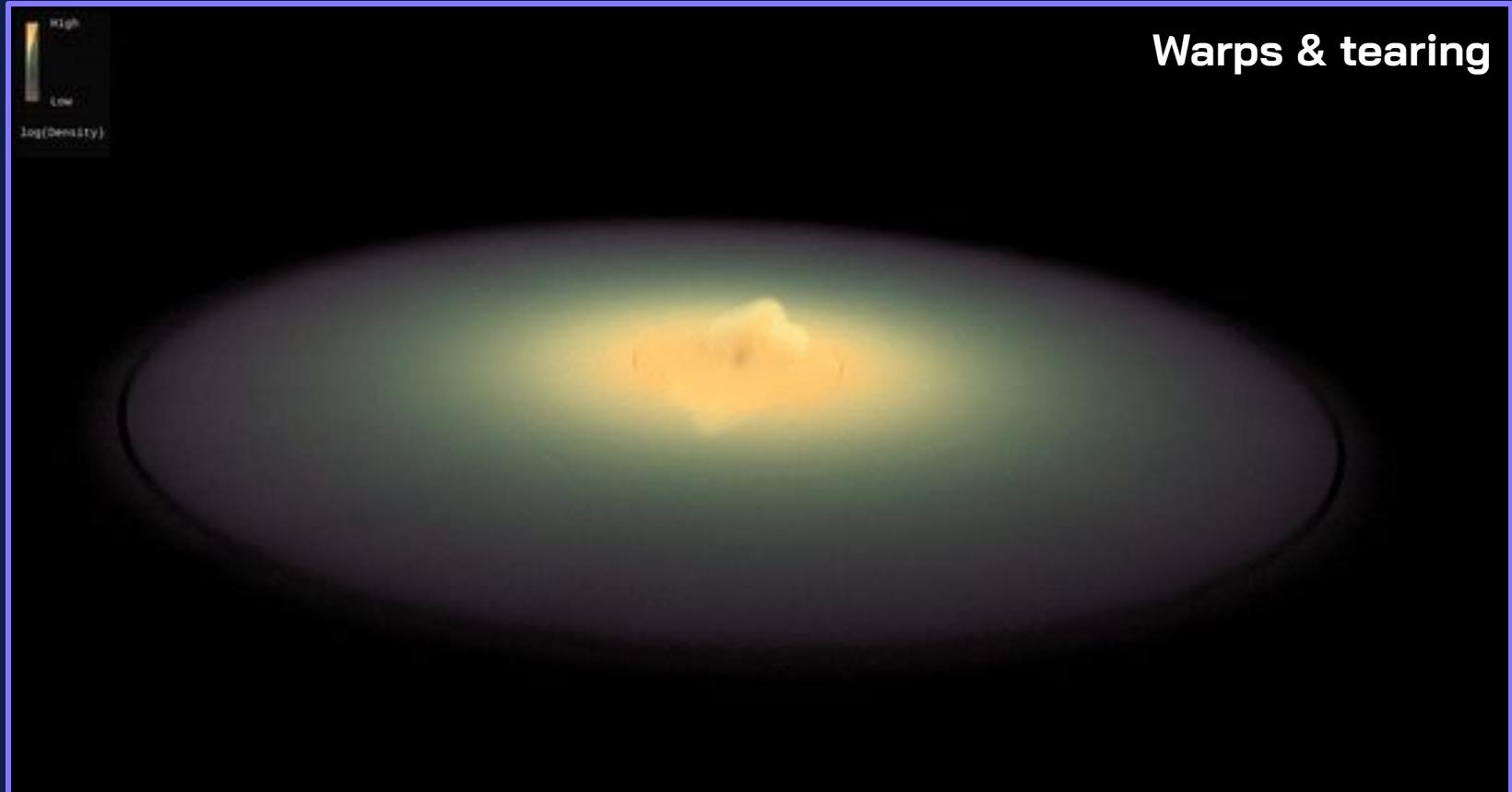
FORMACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLANETAS

How Planets Grow

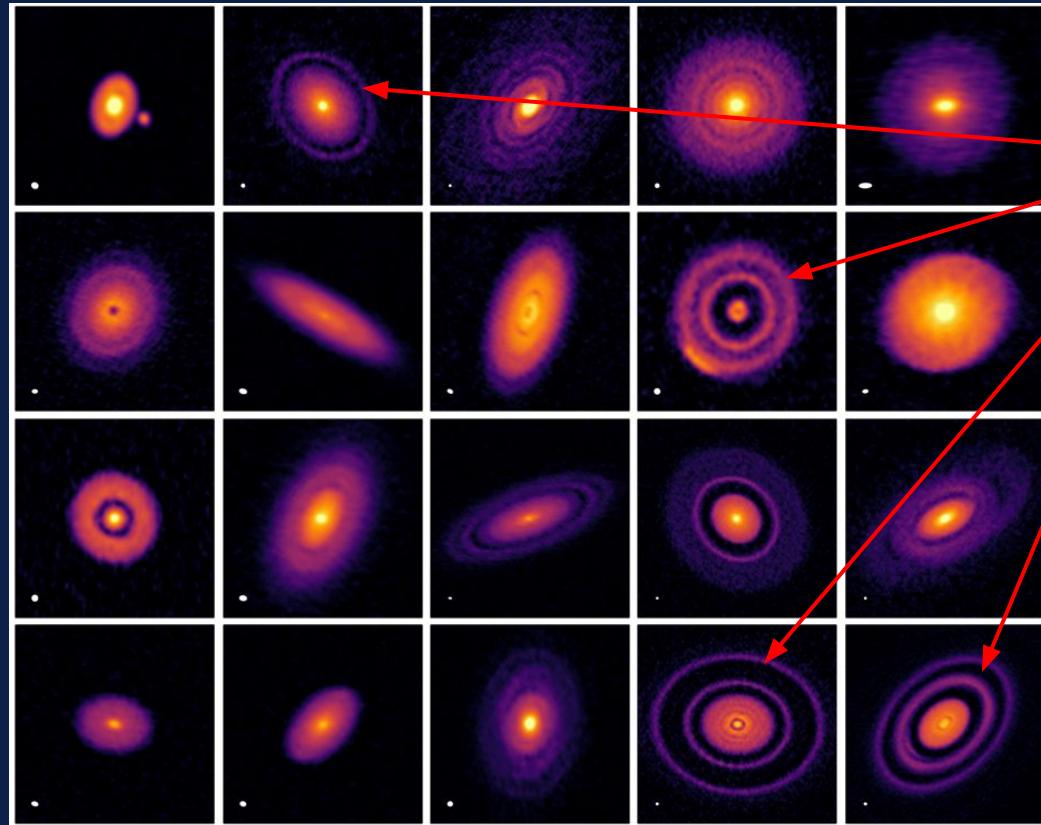
Planets form through growth processes that operate at different scales.



MODELOS HIDRODINÁMICOS



EVOLUCIÓN DE DISCOS PROTOPLANETARIOS



• Gaps
• Distribuciones de
gas-polvo

¿Planetas?

Credit: DSHARP

DETECCIÓN DE EXOPLANETAS

Radial Velocity: 0
Transit: 0
Imaging: 0
Microlensing: 0

Year: 1991
Exoplanets: 0

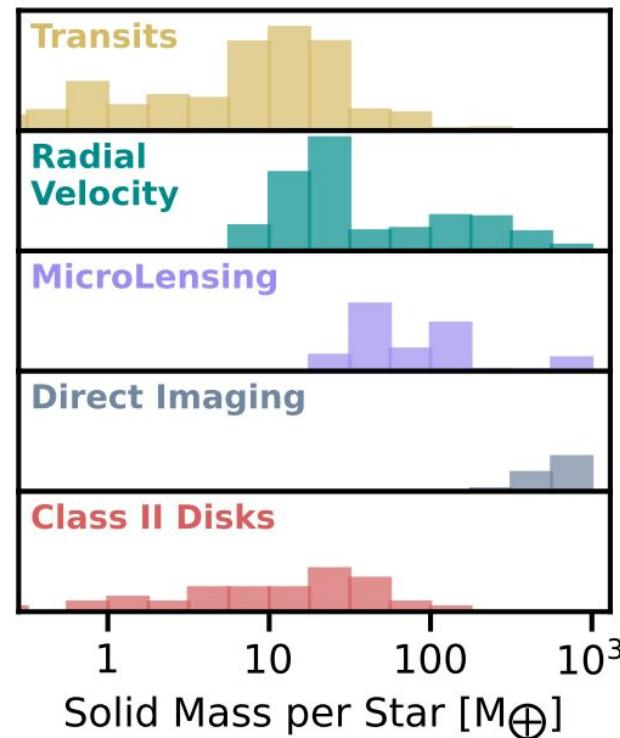
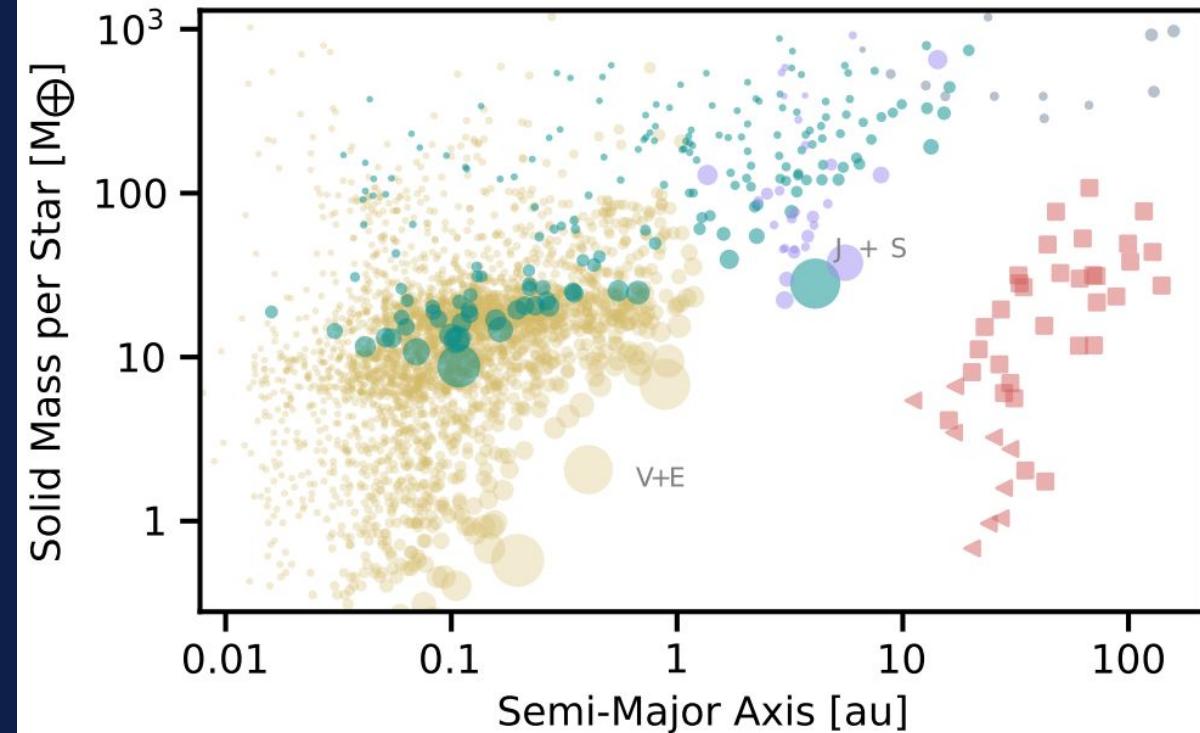
Timing Variations: 0
Orbital Brightness Modulation: 0
Astrometry: 0
Disk Kinematics: 0



Credit: NASA/JPL-Caltech/M. Russo, A. Santaguida

DETECCIÓN DE EXOPLANETAS

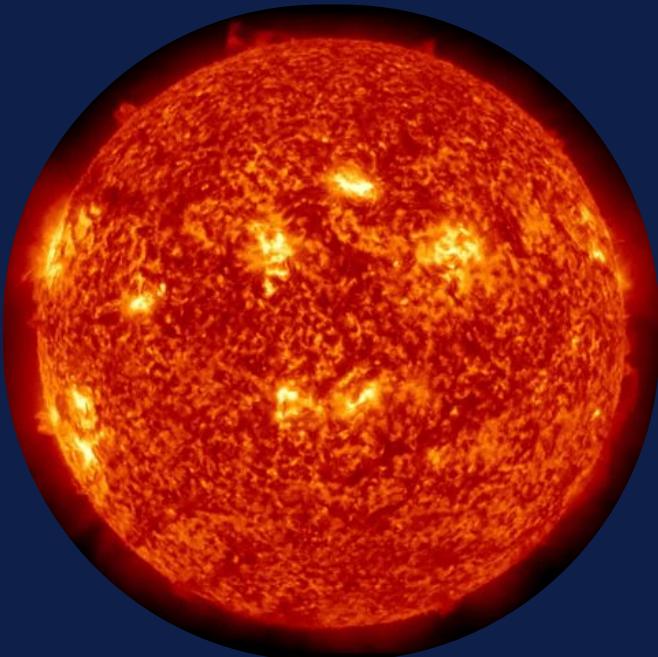
Mass Budget in Exoplanets and Protoplanetary Disks



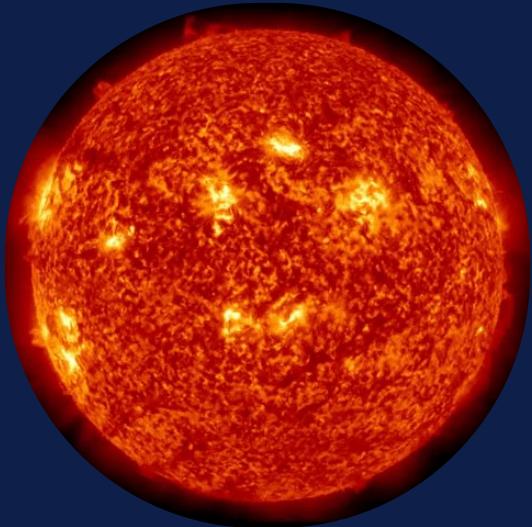


Las estrellas
¿Qué son? ¿Cómo funcionan? ¿Qué nos tienen para decir?

¿QUÉ ES UNA ESTRELLA?



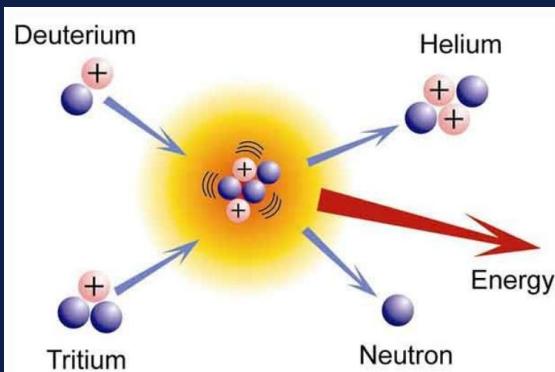
- Gigantesca esfera de gas caliente
- Constituida principalmente de H y He
- Hechas de plasma
 - ◆ Estado de la materia: electrones se separan de sus núcleos formando un gas de partículas cargadas.



¿POR QUÉ BRILLAN?

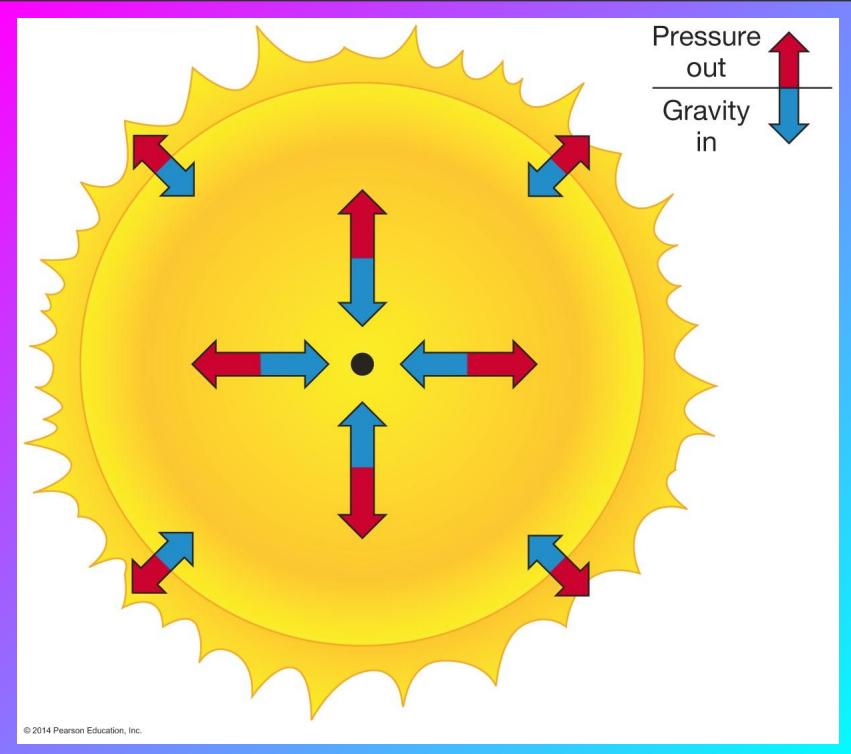
En el núcleo: temperatura y presión extremadamente altas (15 millones °C en el Sol)

Permiten que ocurra **fusión nuclear**



Fusionan átomos formando elementos más pesados y liberando fotones

¿POR QUÉ LAS ESTRELLAS SON ESFERAS?



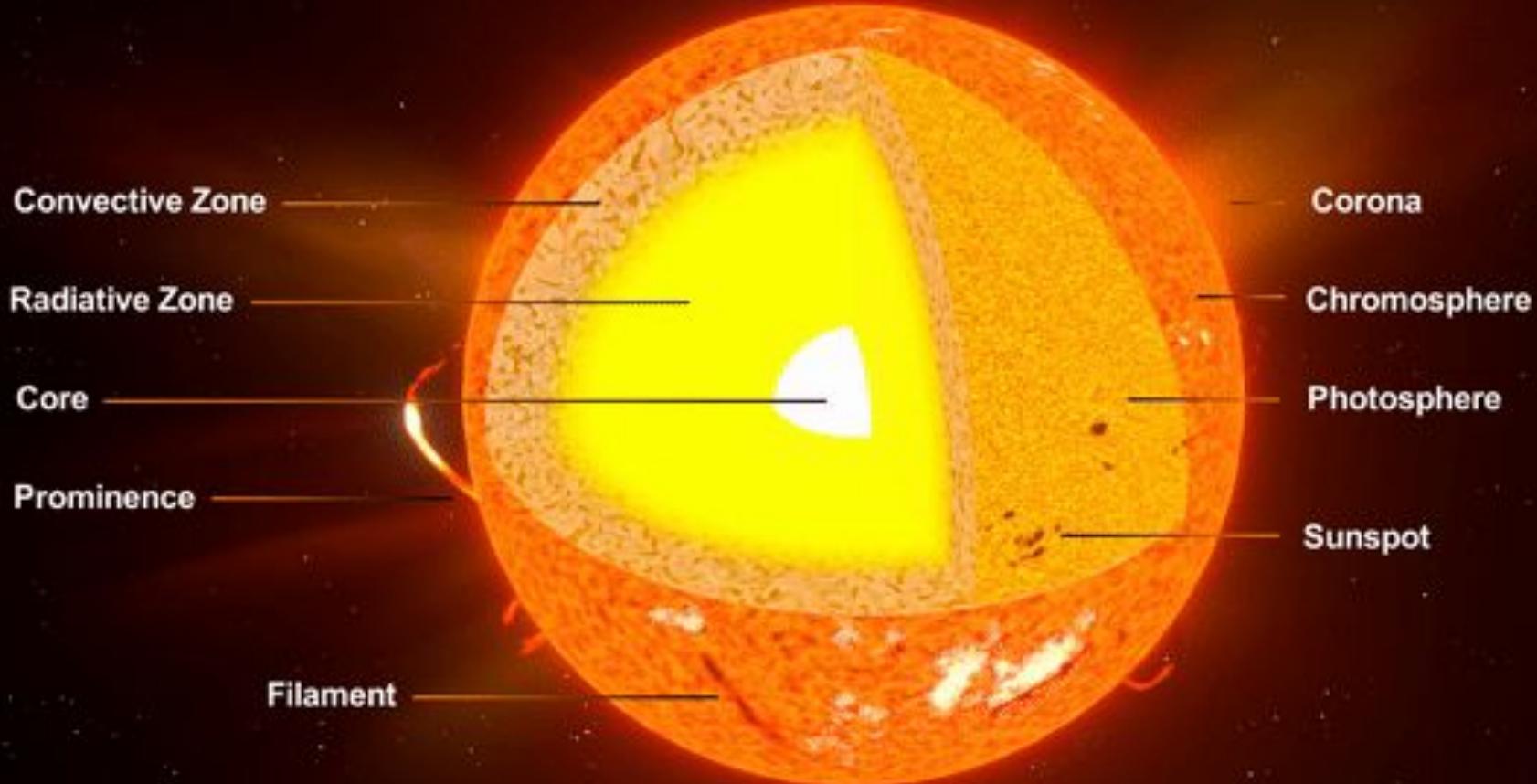
Equilibrio Hidrostático

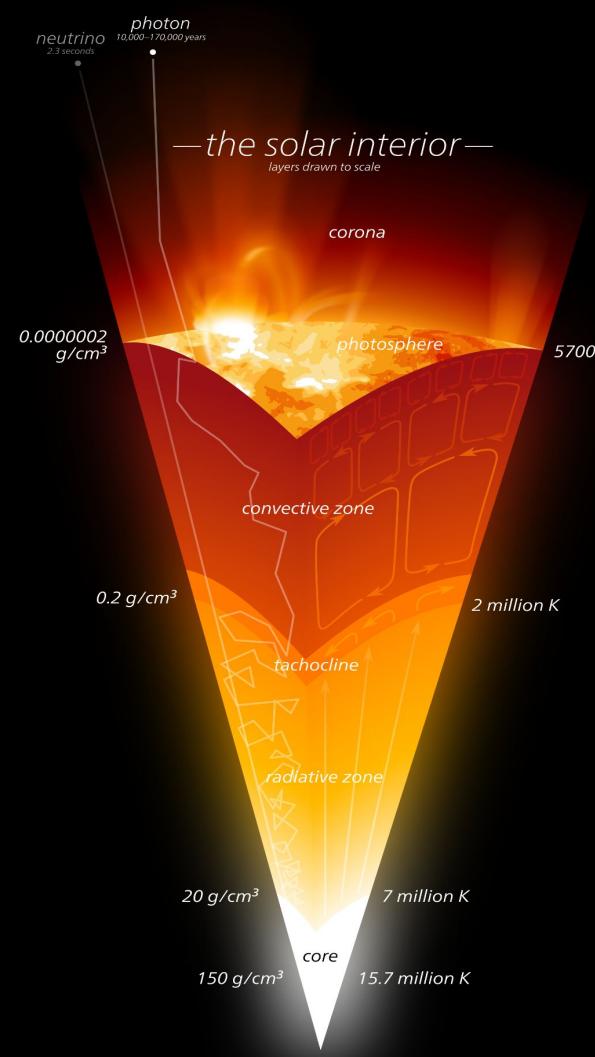
$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_r\rho}{r^2}$$

Presión
radiativa

Gravedad

EL INTERIOR DE NUESTRO SOL

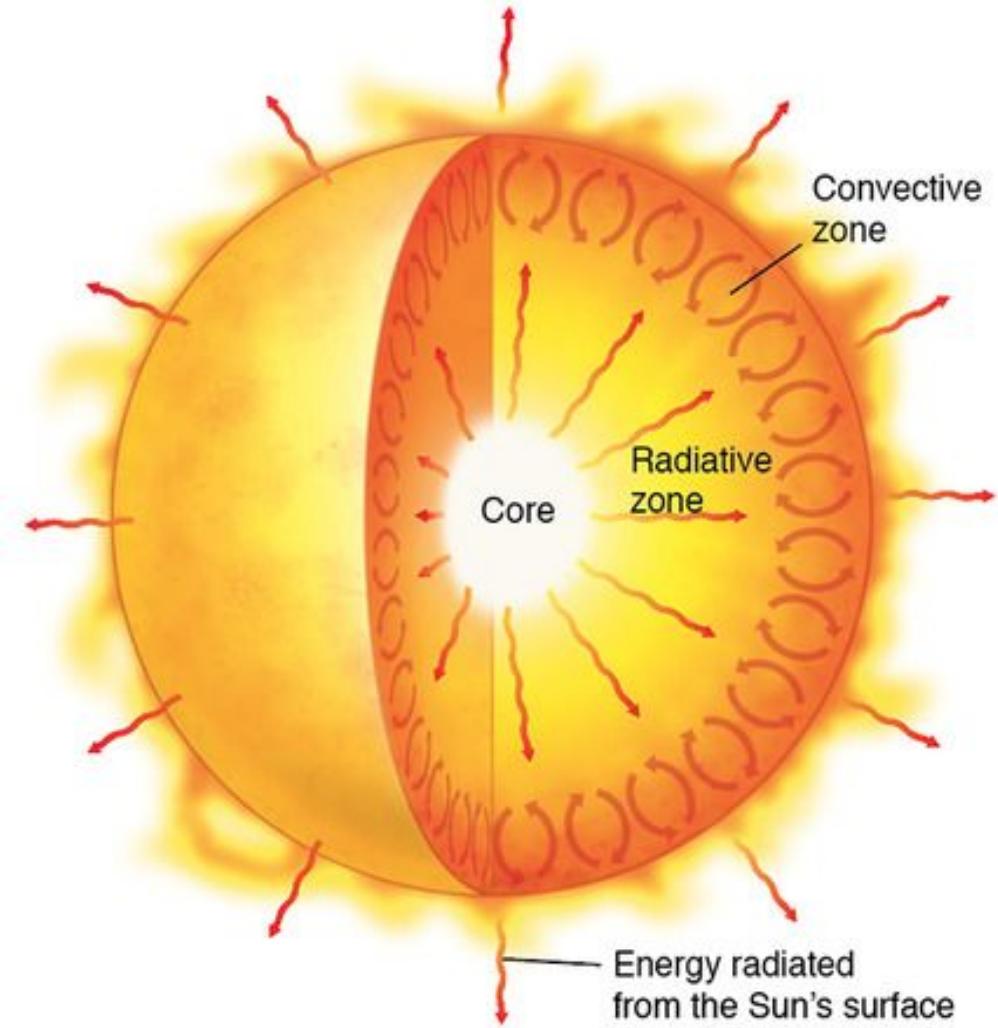




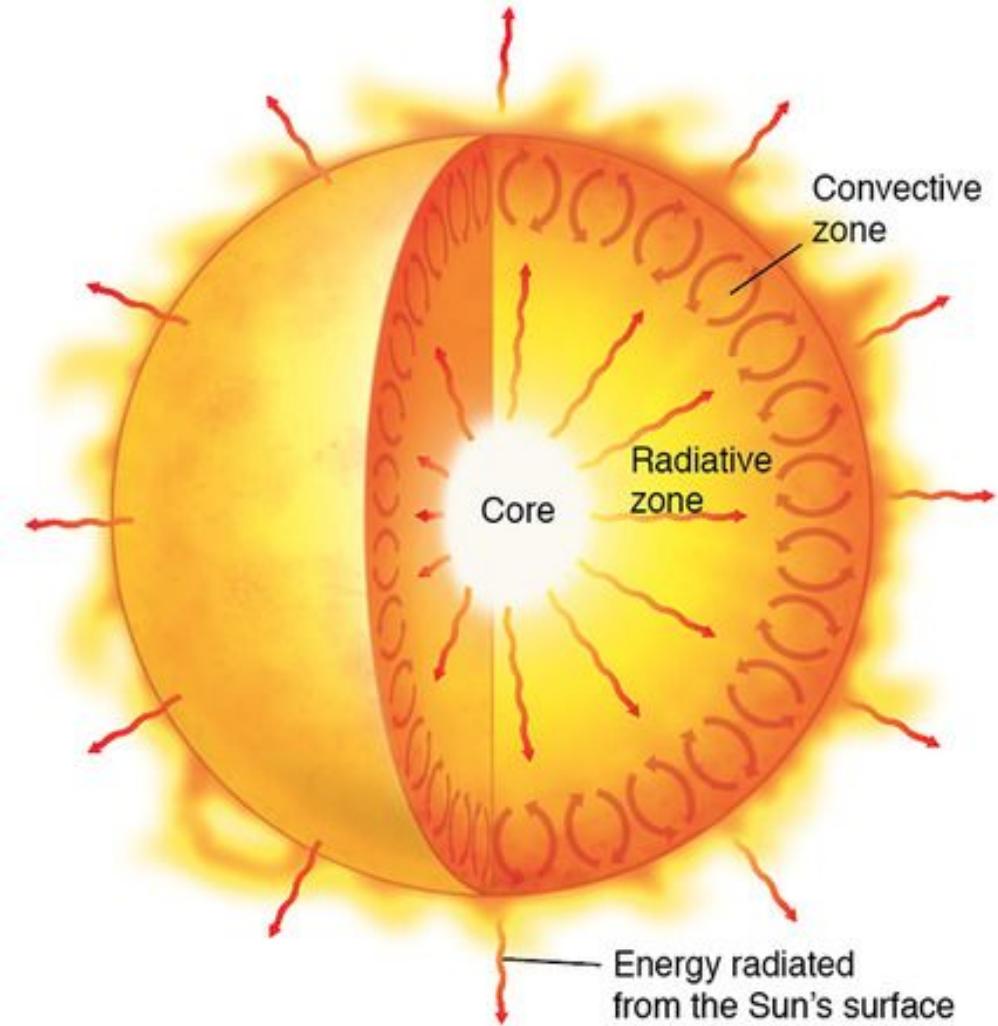
TEMPERATURA
Y
DENSIDAD



ESTÁ SEPARADO
POR TRES
REGIONES
DIFERENTES



1. Core (Núcleo)
2. Zona Radiativa
3. Zona convectiva



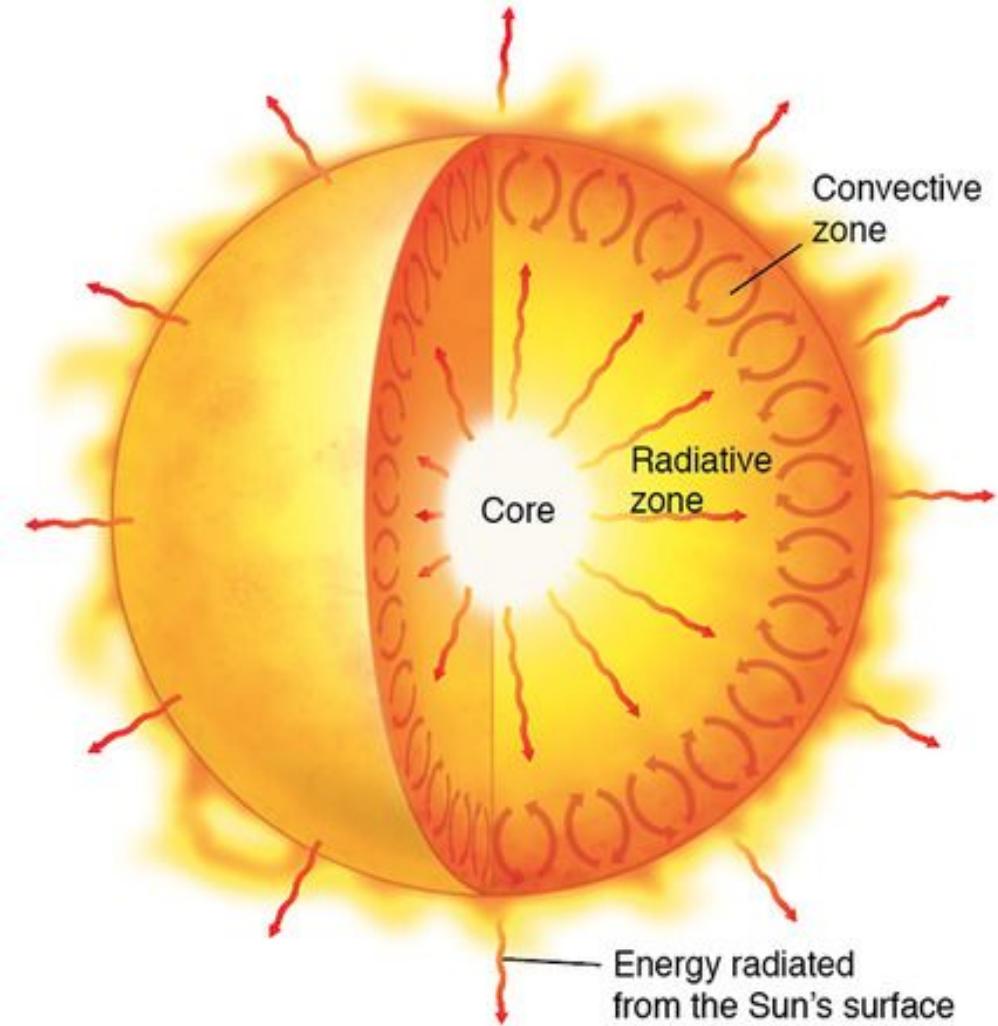
1. Core (Núcleo)

Se genera la energía (fotones) mediante fusión nuclear

Esta energía debe llegar a la superficie.

Hay dos métodos de transporte de energía:

- Radiación
- Convección

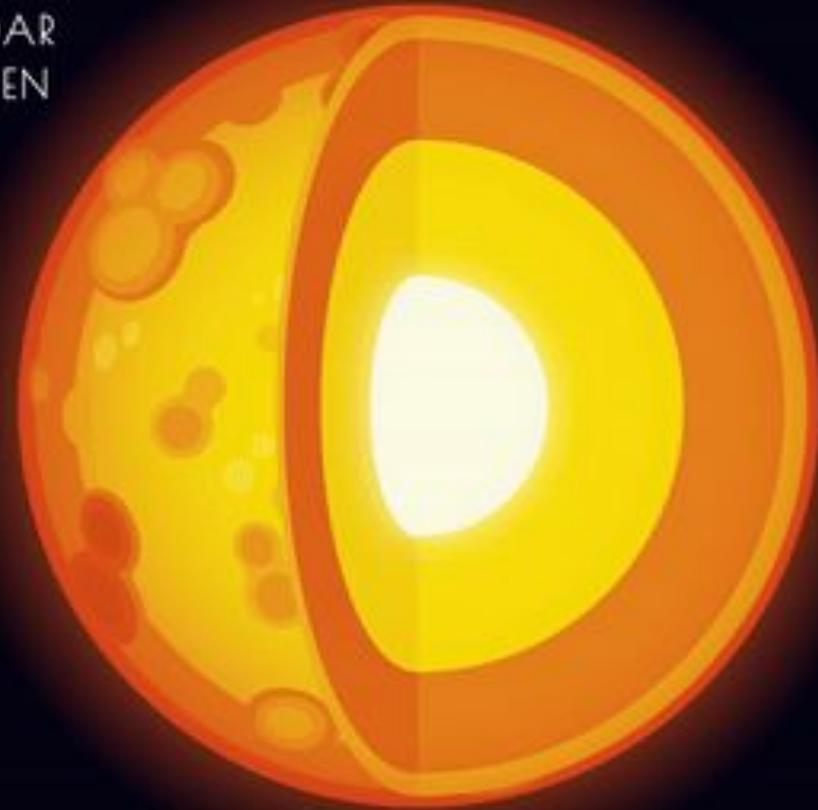


2. Zona Radiativa

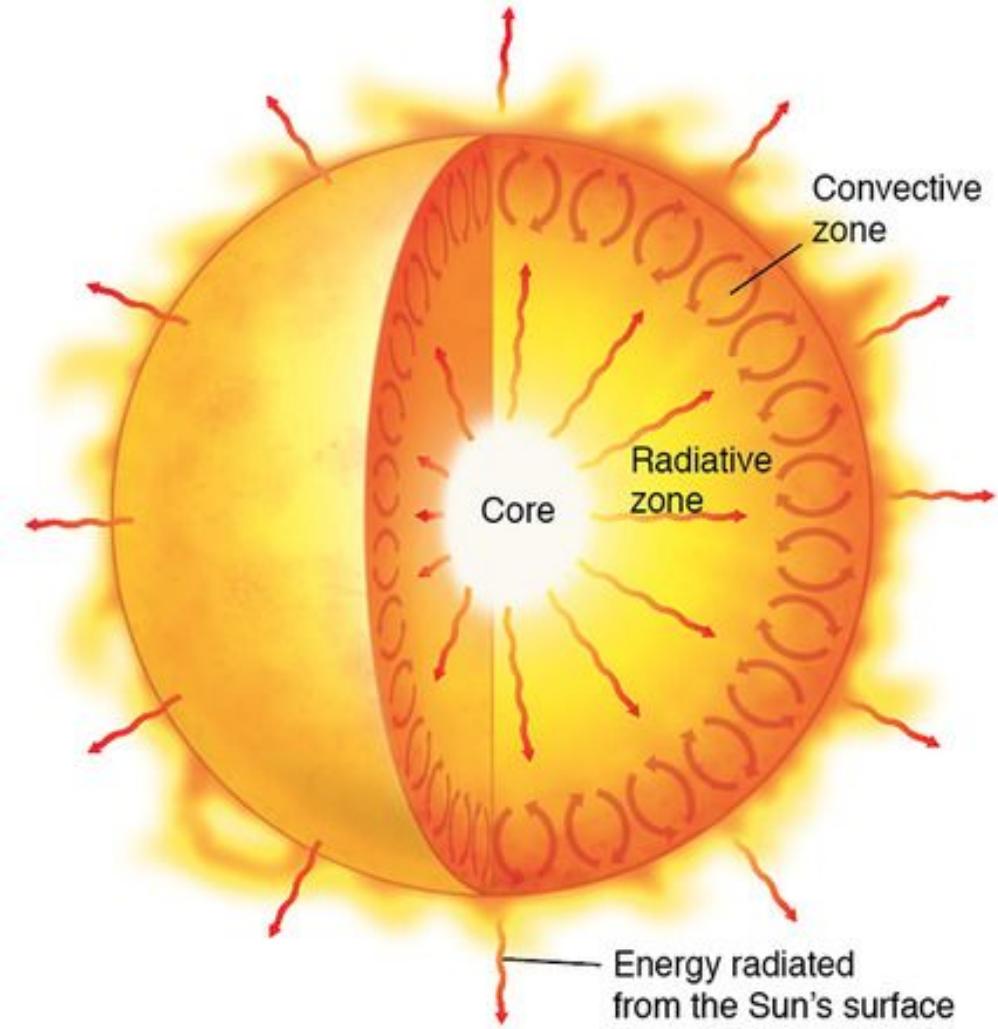
La energía generada en el core es transportada por la luz (fotones)

Pero los fotones no viajan directamente hacia la superficie

LA LUZ PUEDE TARDAR
100.000 AÑOS EN
ESCAPAR DEL SOL



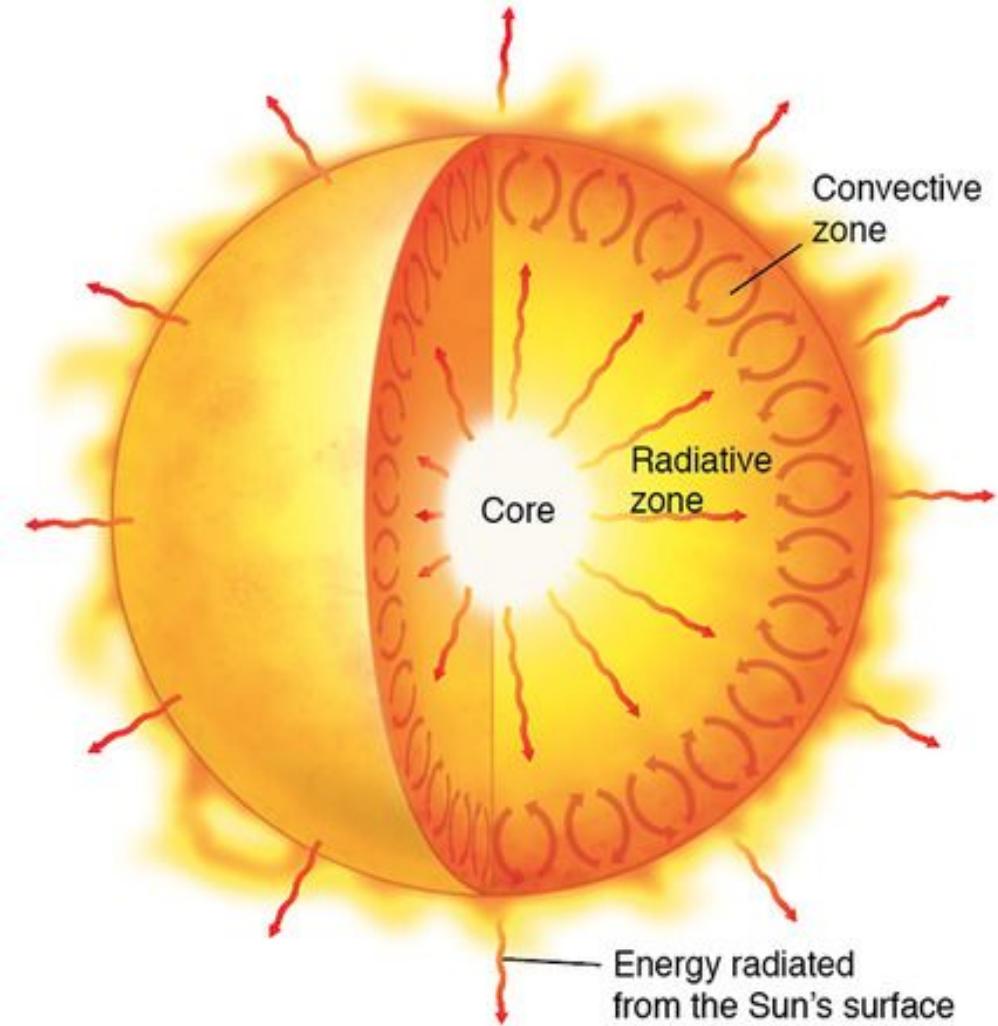
gfgfgfgfg



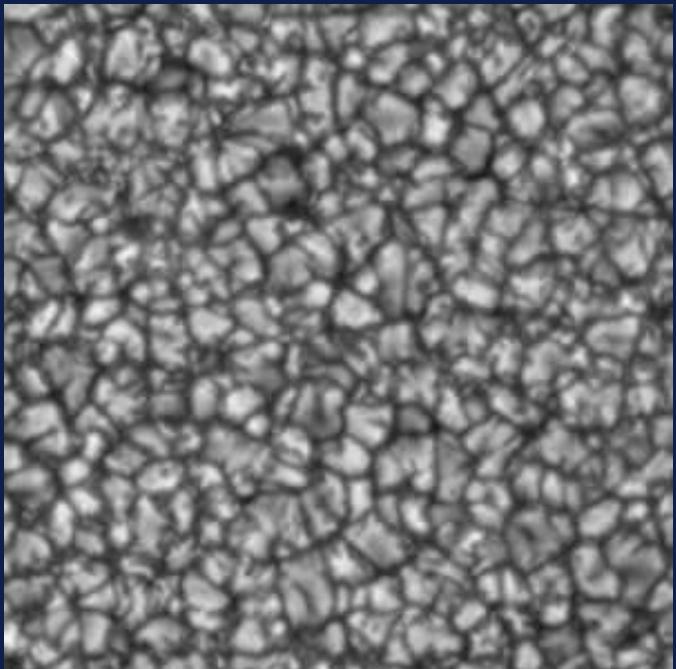
3. Zona convectiva

Material caliente (menos denso)

Material frío (denso)



3. Zona convectiva



Video de Swedish Vacuum Solar Telescope

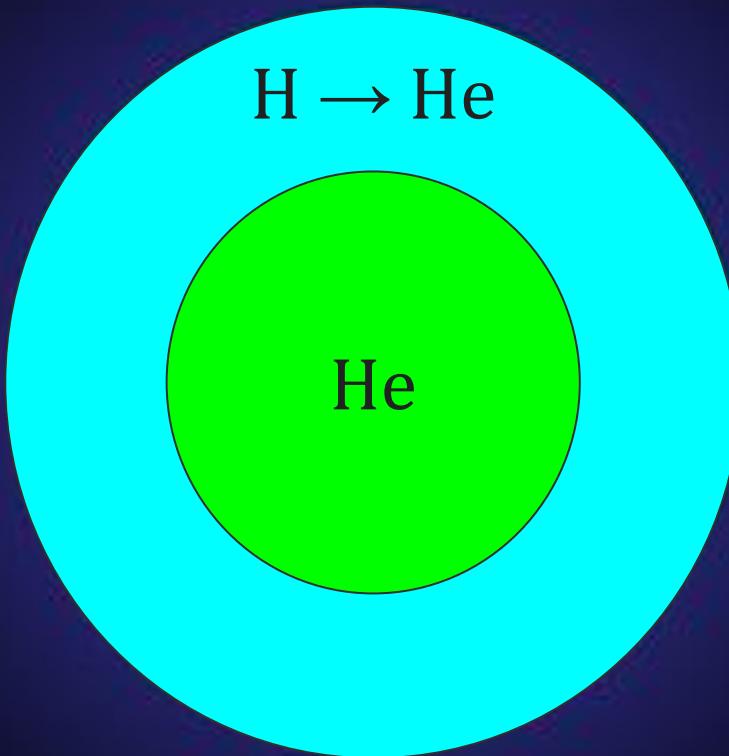
FUSIÓN NUCLEAR EN ESTRELLAS

$H \rightarrow He$

For a 25 solar mass star:

Stage	Duration
$H \rightarrow He$	7×10^6 years
$He \rightarrow C$	7×10^5 years
$C \rightarrow O$	600 years
$O \rightarrow Si$	6 months
$Si \rightarrow Fe$	1 day
Core Collapse	1/4 second

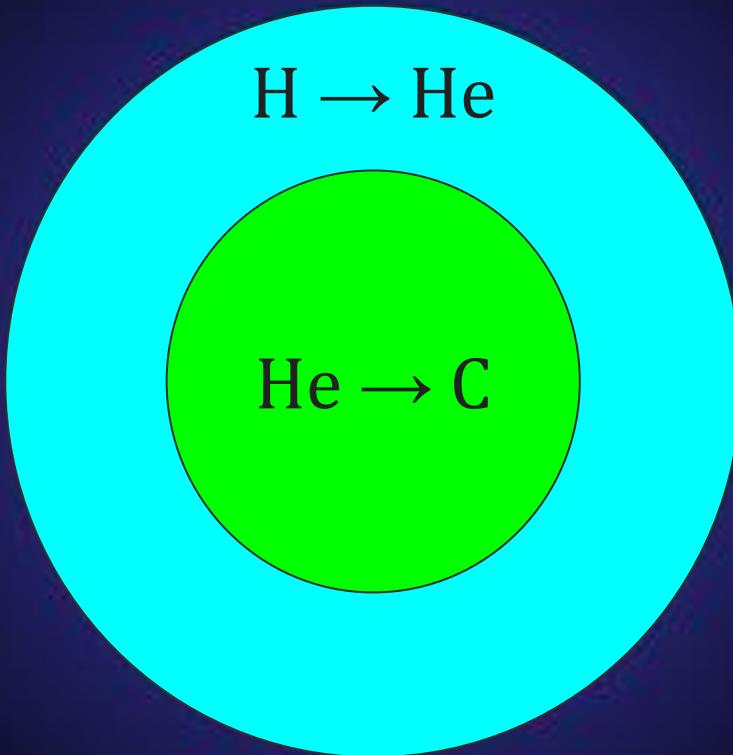
FUSIÓN NUCLEAR EN ESTRELLAS



For a 25 solar mass star:

Stage	Duration
$H \rightarrow He$	7×10^6 years
$He \rightarrow C$	7×10^5 years
$C \rightarrow O$	600 years
$O \rightarrow Si$	6 months
$Si \rightarrow Fe$	1 day
Core Collapse	1/4 second

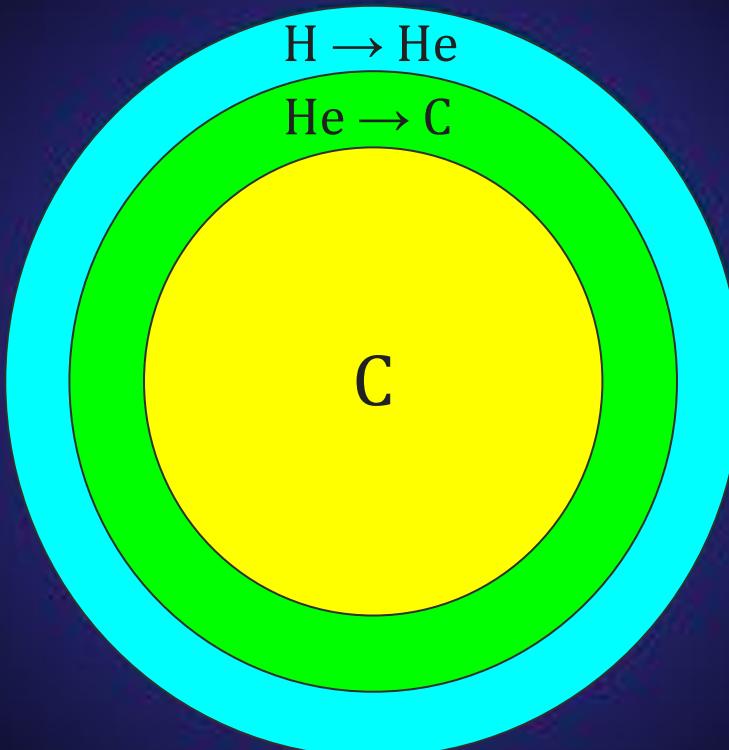
FUSIÓN NUCLEAR EN ESTRELLAS



For a 25 solar mass star:

Stage	Duration
$H \rightarrow He$	7×10^6 years
$He \rightarrow C$	7×10^5 years
$C \rightarrow O$	600 years
$O \rightarrow Si$	6 months
$Si \rightarrow Fe$	1 day
Core Collapse	1/4 second

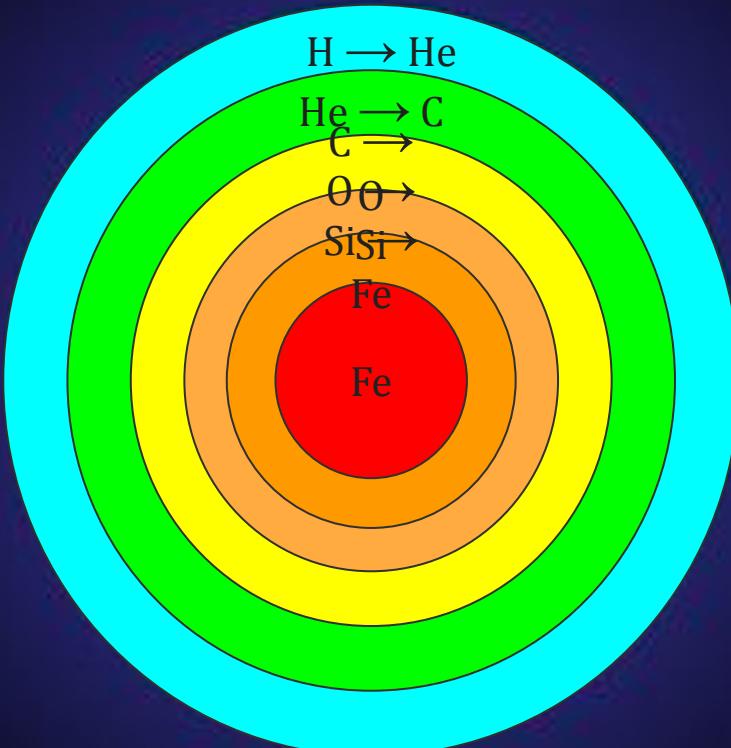
FUSIÓN NUCLEAR EN ESTRELLAS



For a 25 solar mass star:

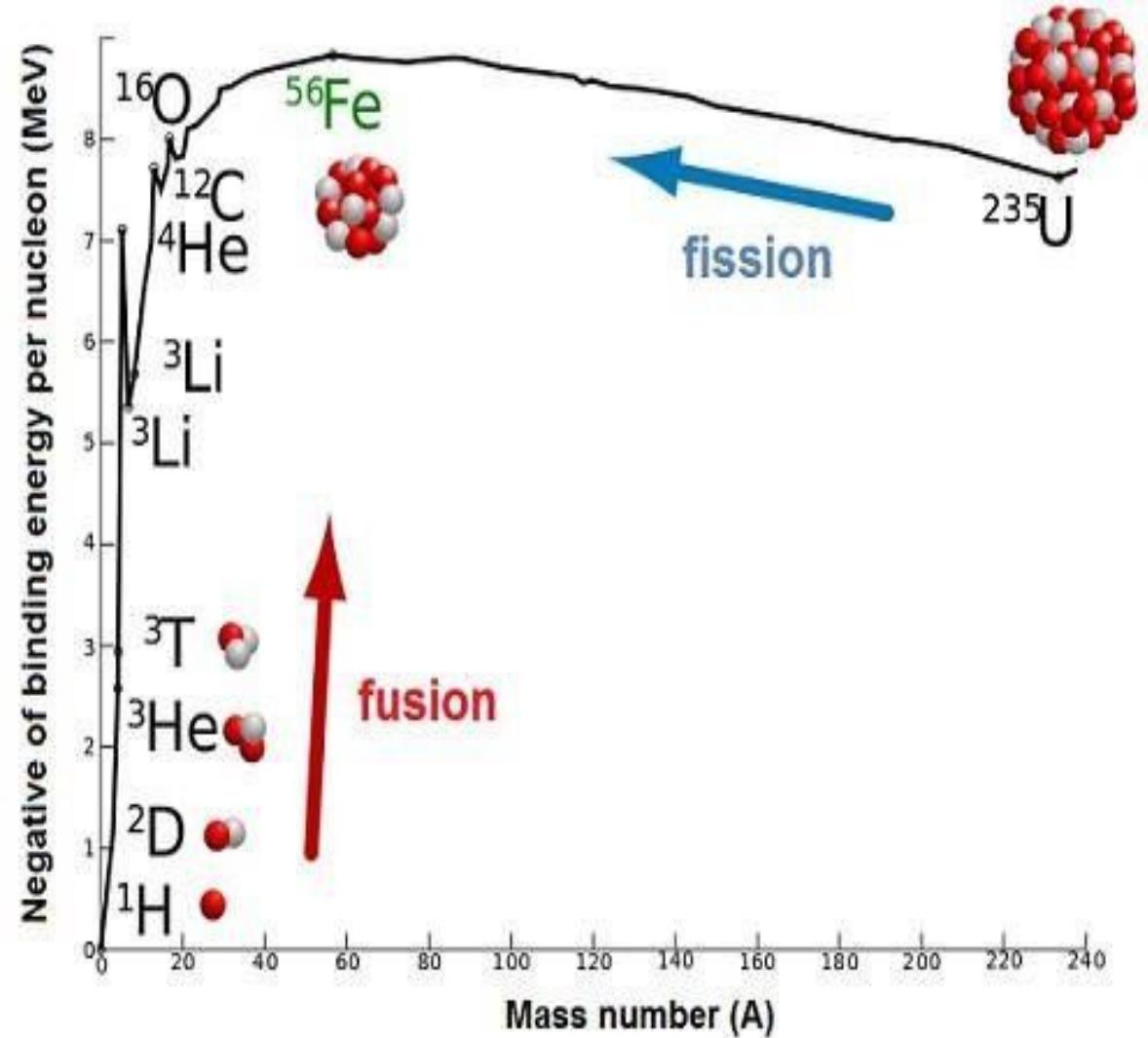
Stage	Duration
$H \rightarrow He$	7×10^6 years
$He \rightarrow C$	7×10^5 years
$C \rightarrow O$	600 years
$O \rightarrow Si$	6 months
$Si \rightarrow Fe$	1 day
Core Collapse	1/4 second

FUSIÓN NUCLEAR EN ESTRELLAS



For a 25 solar mass star:

Stage	Duration
$H \rightarrow He$	7×10^6 years
$He \rightarrow C$	7×10^5 years
$C \rightarrow O$	600 years
$O \rightarrow Si$	6 months
$Si \rightarrow Fe$	1 day
Core Collapse	1/4 second

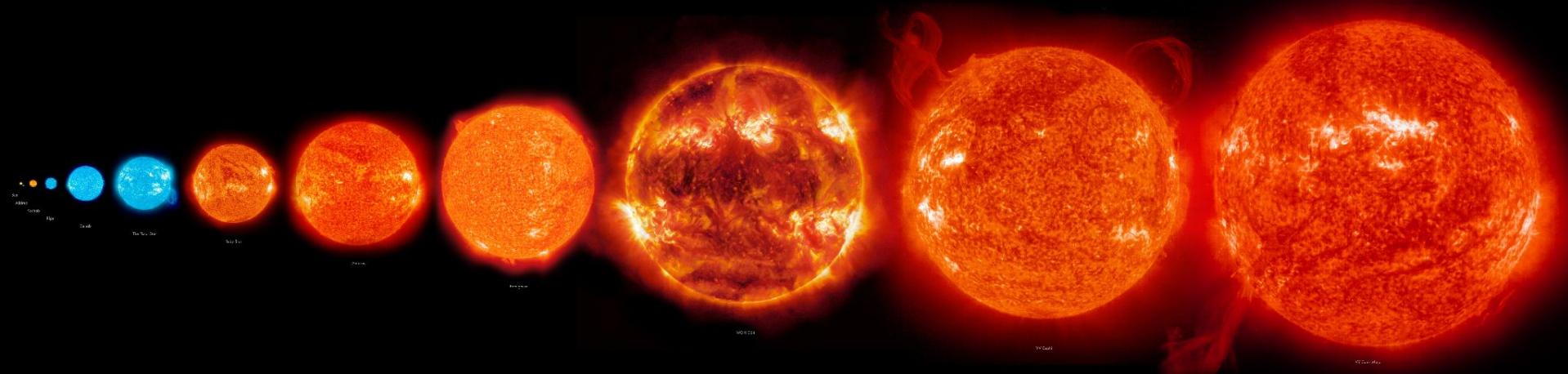


¿Por qué no se puede fusionar Hierro (Fe)?

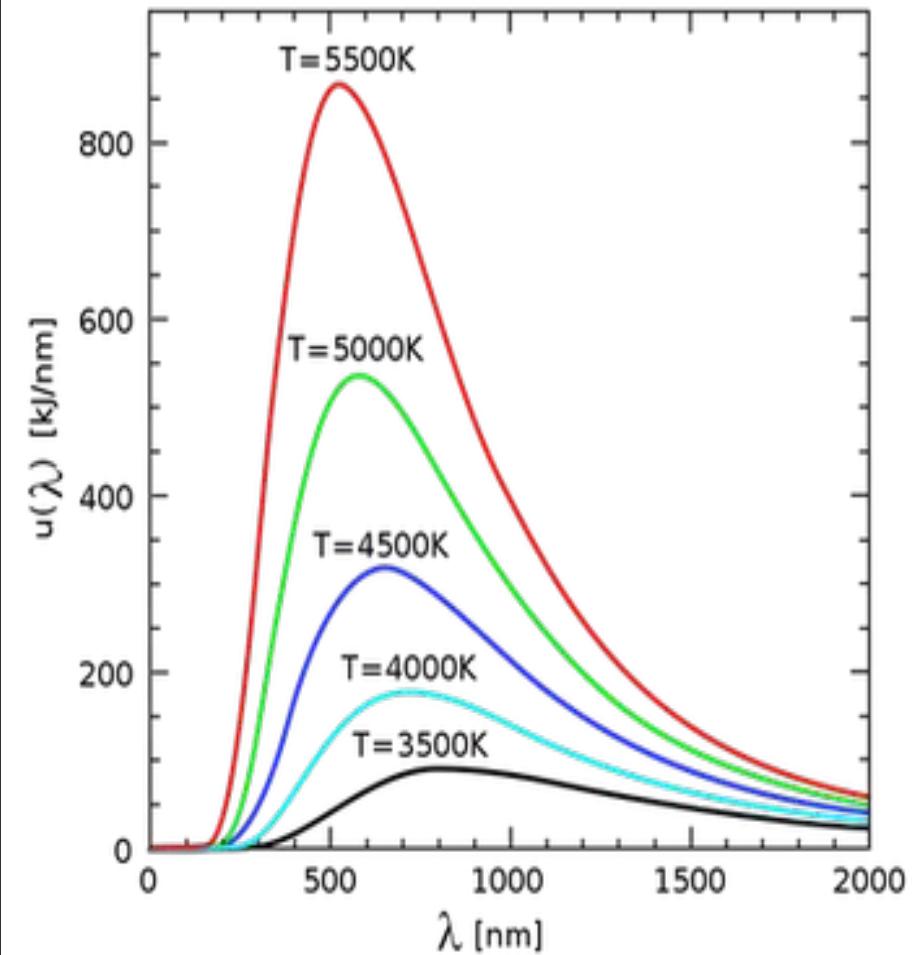
La energía necesaria para descomponer un núcleo aumenta.

La fusión de Fe no produce energía, sino que consume energía!

No puede mantener la presión necesaria para contrarrestar la gravedad.



¿POR QUÉ LA TEMPERATURA SE RELACIONA
CON EL COLOR?

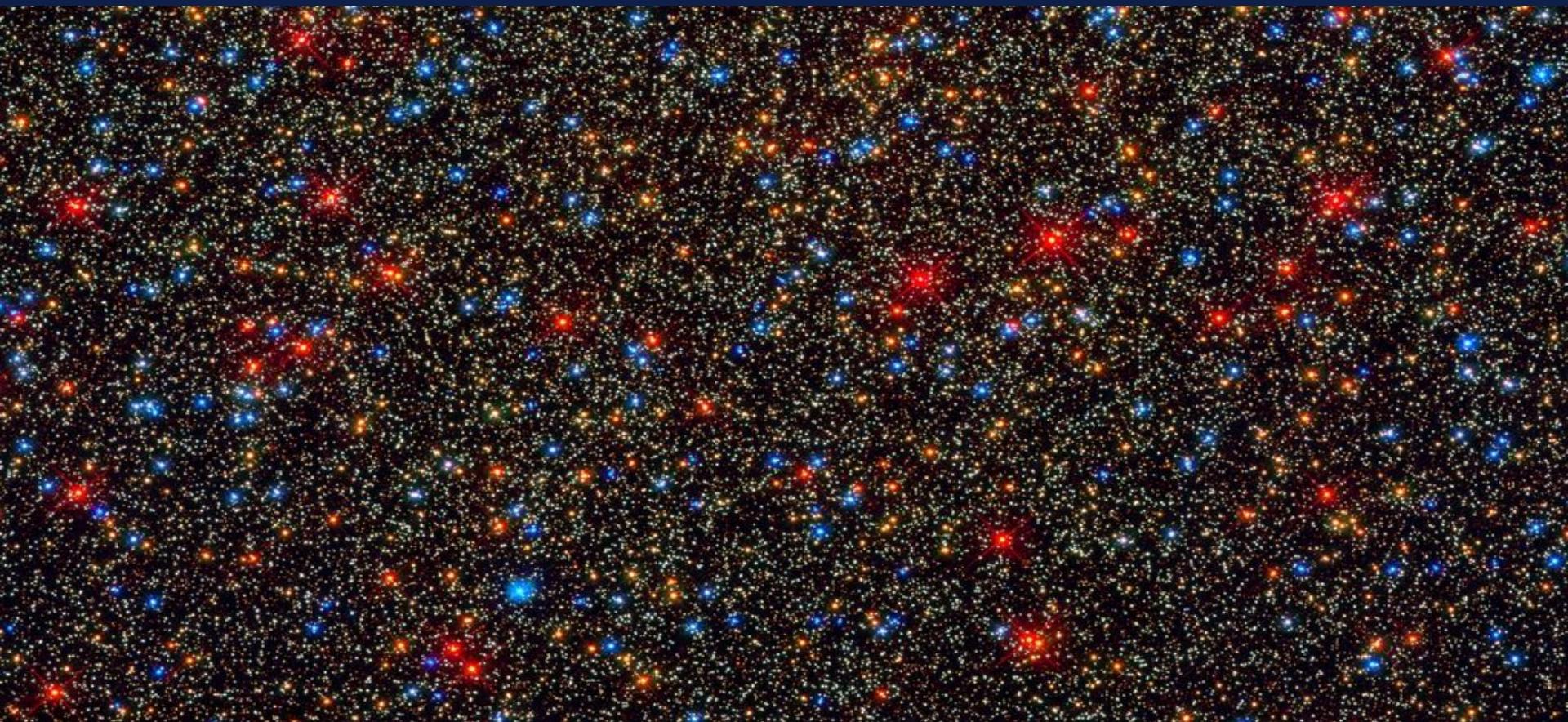


Ley de Desplazamiento de
Wien

$$\lambda_{peak} T = b(mK)$$

CLASIFICACIÓN DE ESTRELLAS

TIPO ESPECTRAL + CLASE DE LUMINOSIDAD



TIPO ESPECTRAL

Spectral Type	Color	Temperature (K)*	Spectral Features
O		28,000-50,000	Ionized helium, especially helium
B		10,000-28,000	Helium, some hydrogen
A		7,500-10,000	Strong hydrogen, some ionized metals**
F		6,000-7,500	Hydrogen and ionized metals such as calcium and iron
G		5,000-6,000	Both metals and ionized metals, especially ionized calcium
K		3,500-5,000	Metals
M		2,500-3,500	Strong titanium oxide and some calcium

- Basado principalmente en la temperatura superficial
- También en la presencia de líneas de ciertos elementos en los espectros
- Cada tipo espectral tiene una subclase (de 0 a 9): secuencia en temperatura

* To convert approximately to Fahrenheit, multiply by 9/5.

** Astronomers regard elements heavier than helium as metals.

CLASE DE LUMINOSIDAD

Luminosidad

+



Symbol	Class of Star	Example
I	Supergiants	Betelgeuse, Antares
II	Bright giants	Canopus
III	Giants	Aldebaran
IV	Subgiants	Procyon
V	Main sequence	Sun, Sirius A
wd or D	White dwarfs	Sirius B

Dos estrellas de la misma temp pueden tener luminosidades muy distintas

Entonces, se necesita una etiqueta adicional

CLASE DE LUMINOSIDAD

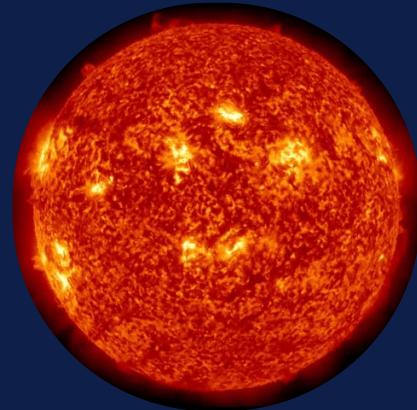
+

Luminosidad

-

Symbol	Class of Star	Example
I	Supergiants	Betelgeuse, Antares
II	Bright giants	Canopus
III	Giants	Aldebaran
IV	Subgiants	Procyon
V	Main sequence	Sun, Sirius A
wd or D	White dwarfs	Sirius B

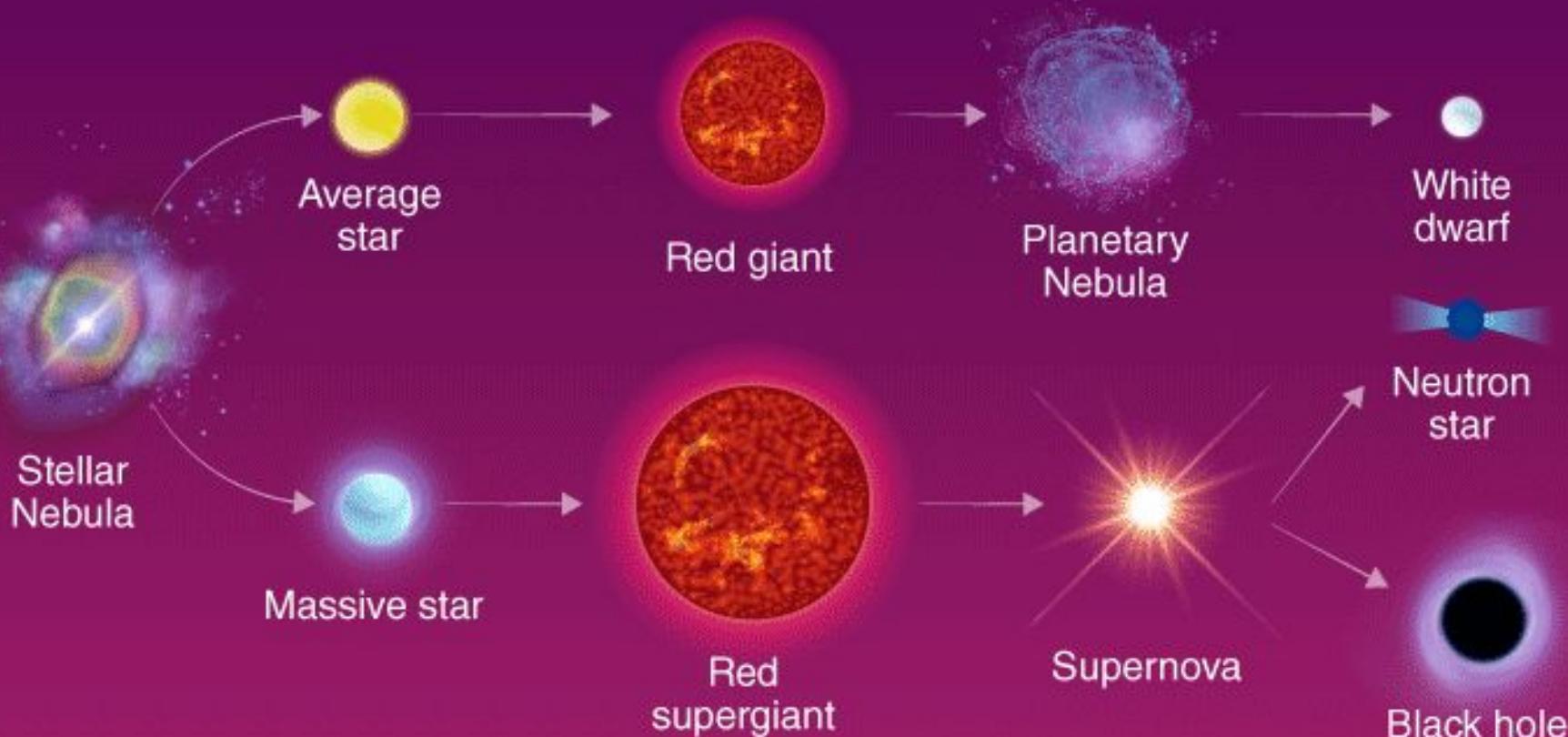
Entonces nuestro Sol es una estrella



G2 V

tipo espectral
subclase de tipo espectral
clase de luminosidad

LIFE CYCLE OF A STAR



EVOLUCIÓN ESTELAR: BAJA MASA

Etapa 1



Fusión de
Hidrógeno a Helio

Etapa 2



Fusión de H se detiene
↓
Núcleo se contrae
↓
Aumenta su temperatura
↓
La estrella se expande

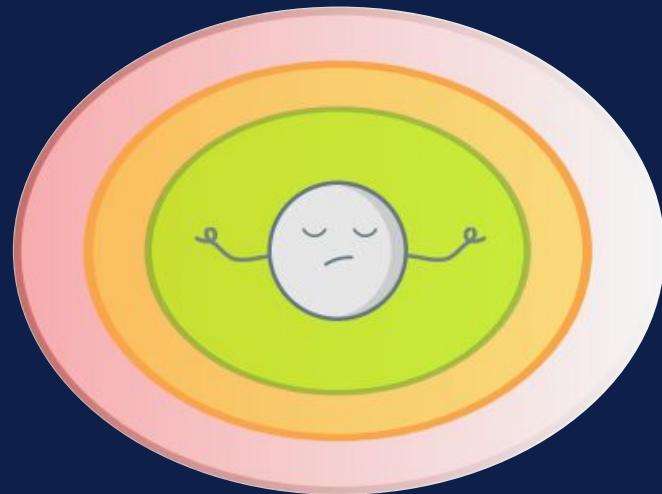
Etapa 3



Núcleo se calienta
lo suficiente para
fusionar
Helio en Carbono

EVOLUCIÓN ESTELAR: BAJA MASA

Etapa 4



La estrella se vuelve inestable

Expulsa capas exteriores
formando Nebulosa Planetaria

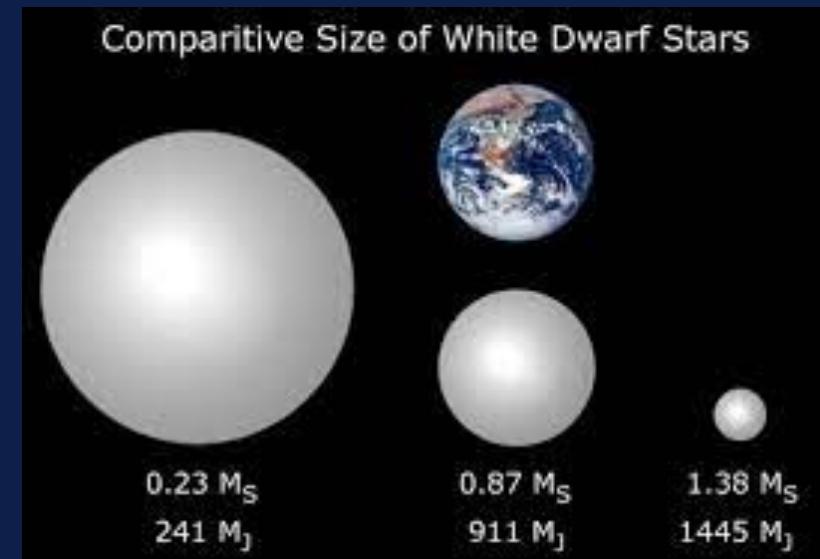
Etapa 5



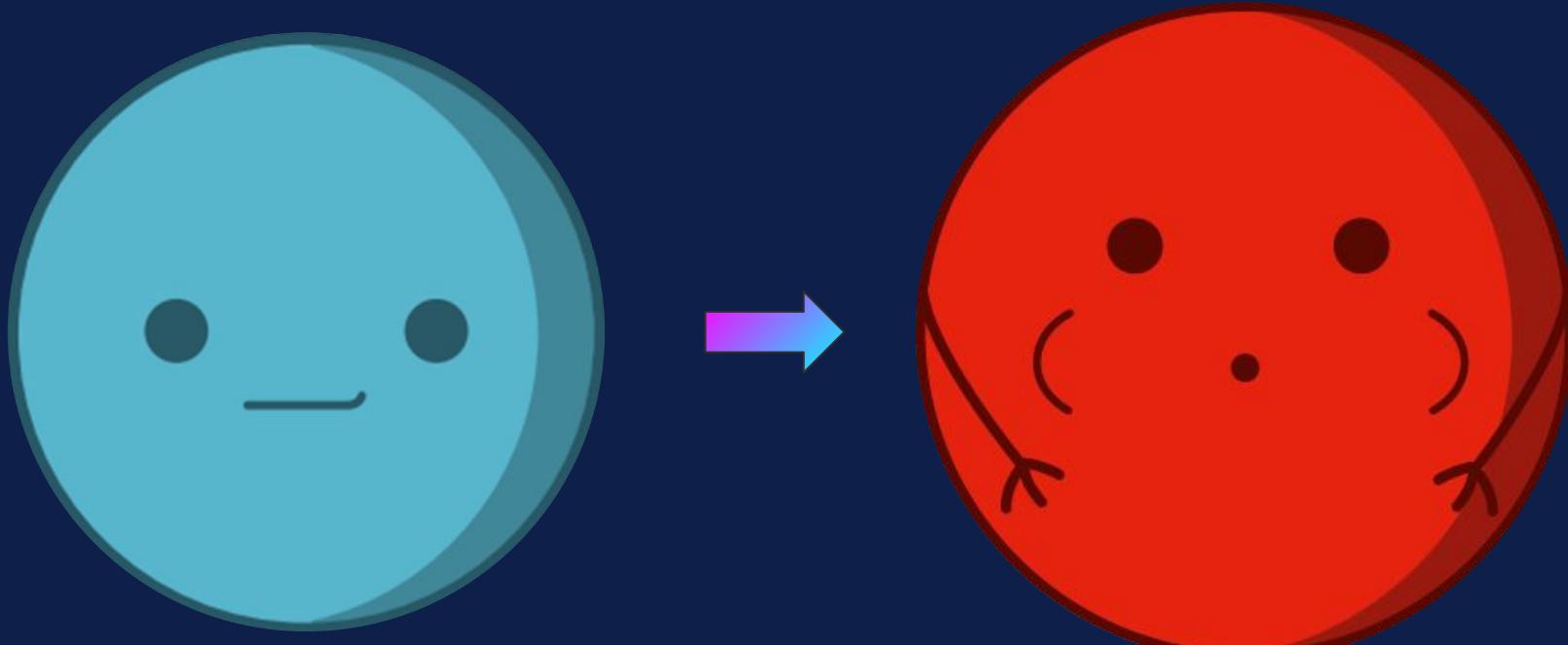
En el centro de nebulosa
queda un remanente

Enana Blanca

EVOLUCIÓN ESTELAR: BAJA MASA



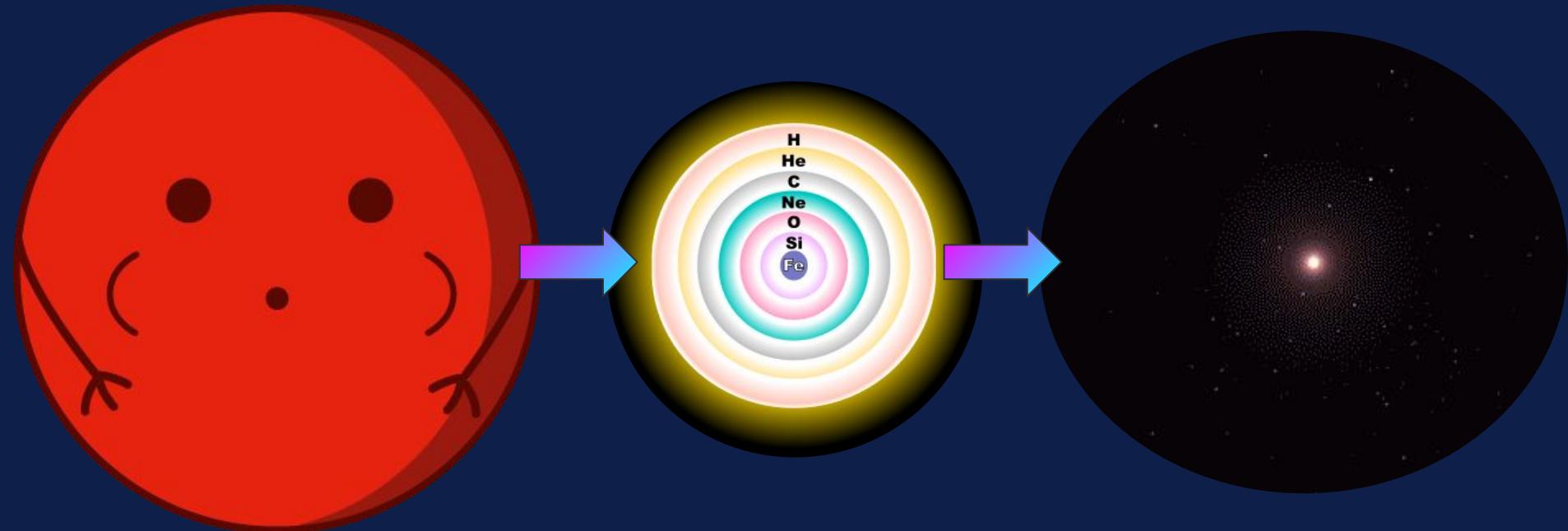
EVOLUCIÓN ESTELAR: ALTA MASA



Estrella azul muy luminosa y
de muy alta temperatura
Fusiona H en He muy rápido

Cesa la fusión de H, se contrae
su núcleo y se expande

EVOLUCIÓN ESTELAR: ALTA MASA



Comienza a fusionar He

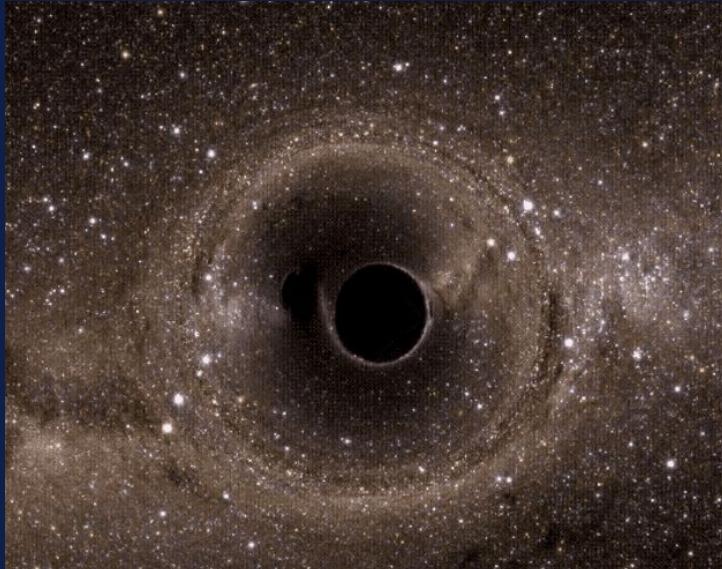
Fusiona hasta el Fe

Explota formando
una supernova

EVOLUCIÓN ESTELAR: ALTA MASA

Dos posibles remanentes

Agujero negro

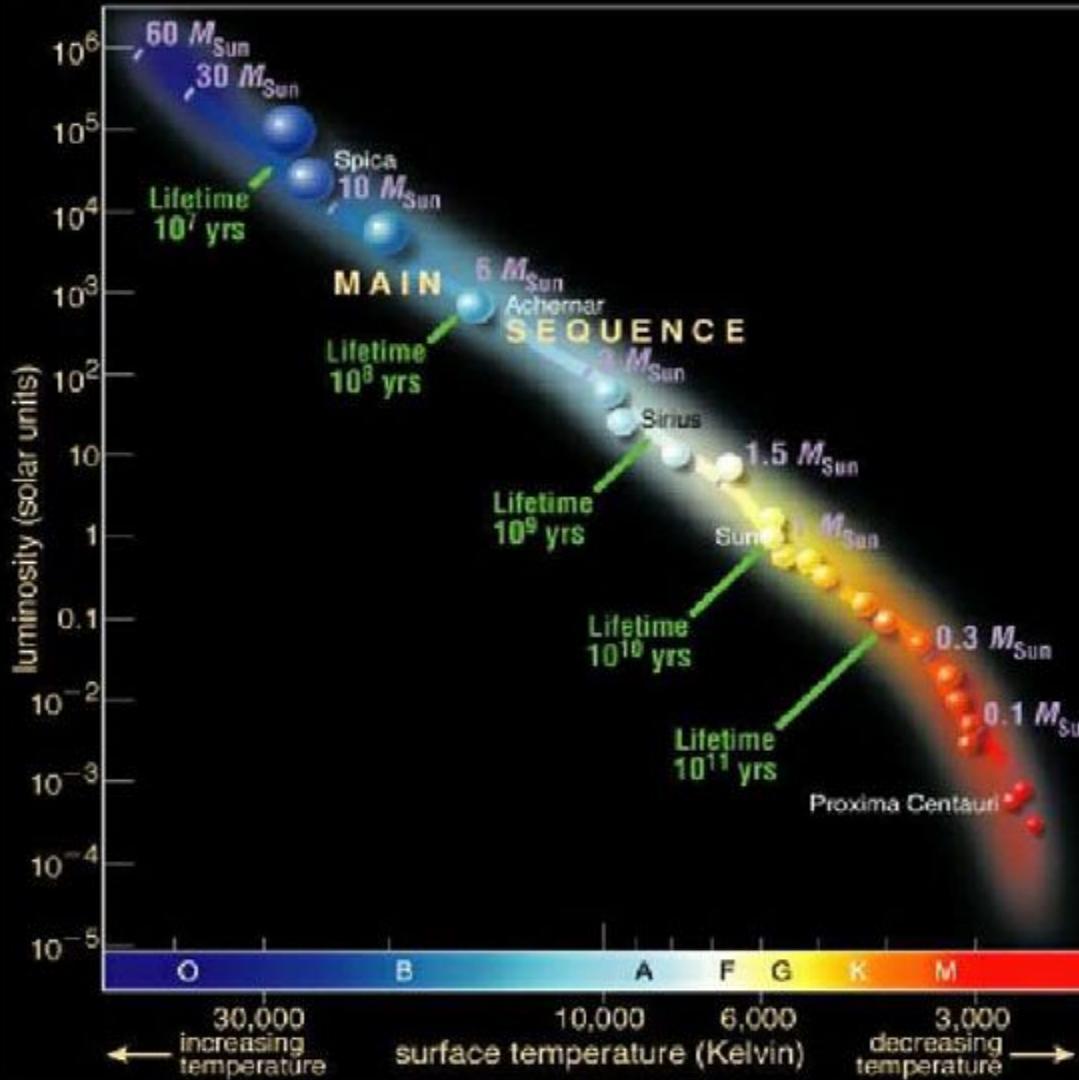


Estrella de neutrones





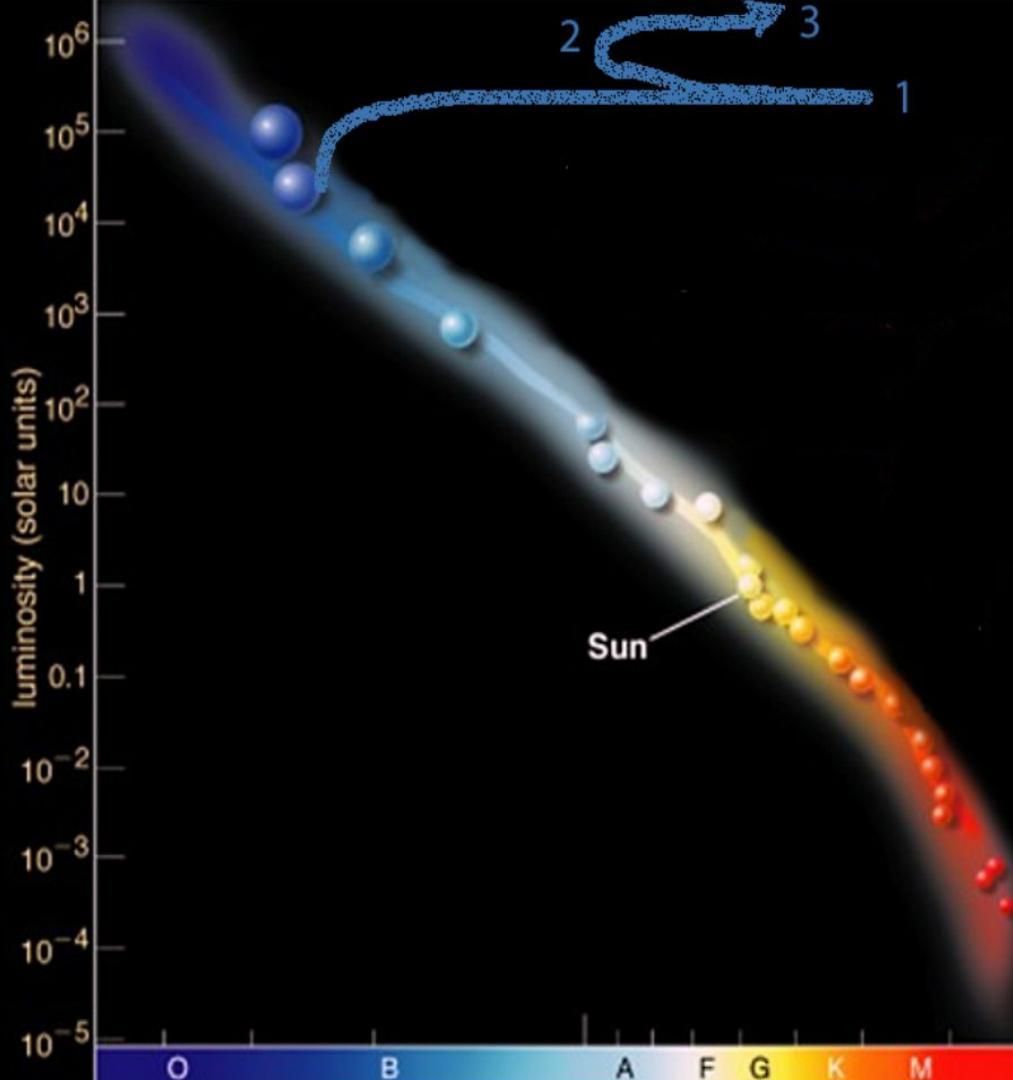
Secuencia Principal en Diagrama HR



Zero Age Main Sequence

Forma una secuencia en masa

Estrellas fusionan hidrógeno en helio



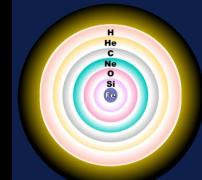
Evolución de estrella de baja masa en Diagrama HR



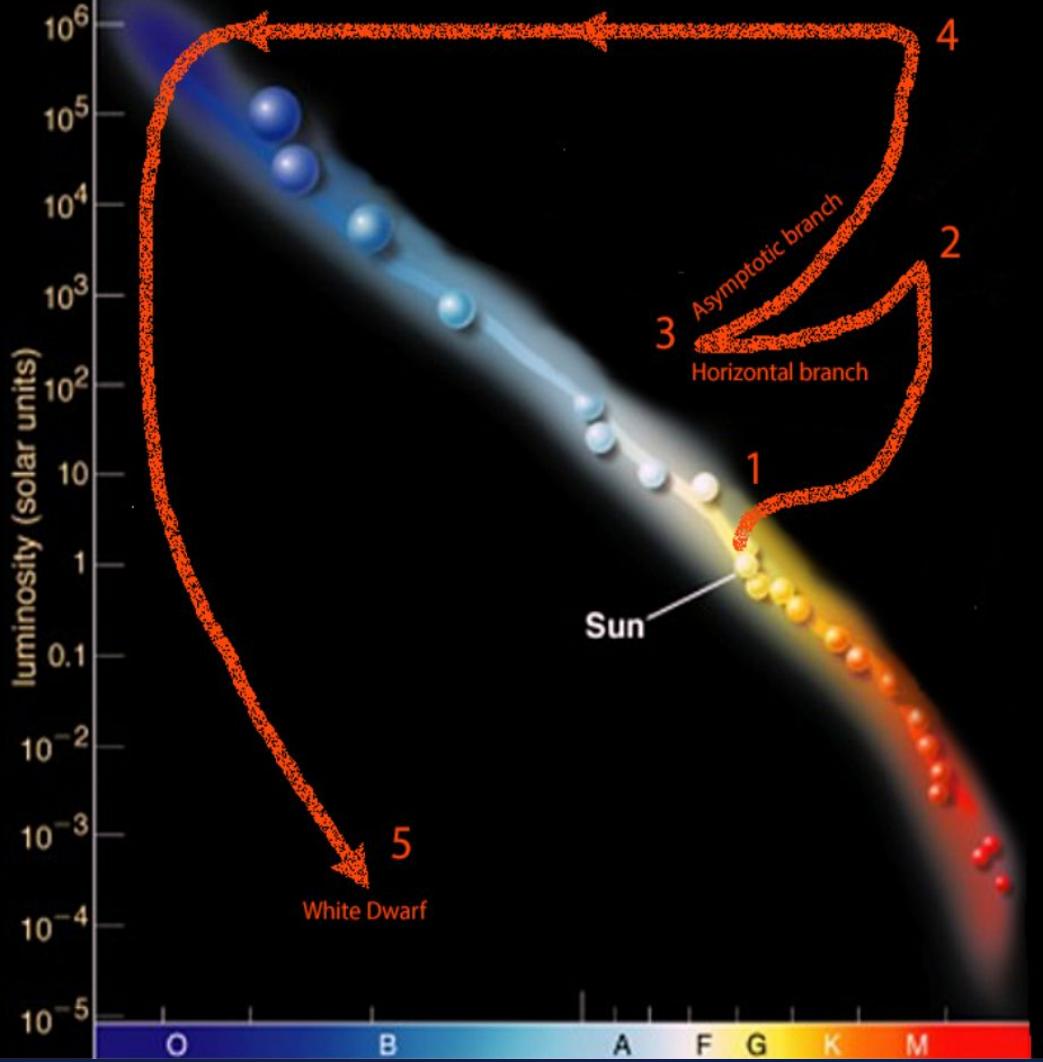
La temperatura es tan alta



Que rápidamente se convierte en una Supergigante Roja



Y es capaz de fusionar elementos pesados hasta el Hierro



Evolución de estrella de baja masa en Diagrama HR



1. Secuencia principal:
 $H \rightarrow He$



2. Gigante Roja:
Sesa fusión de H



3. Rama Horizontal:
Fusión de He en C



4. Rama asintótica:
Estrella inestable

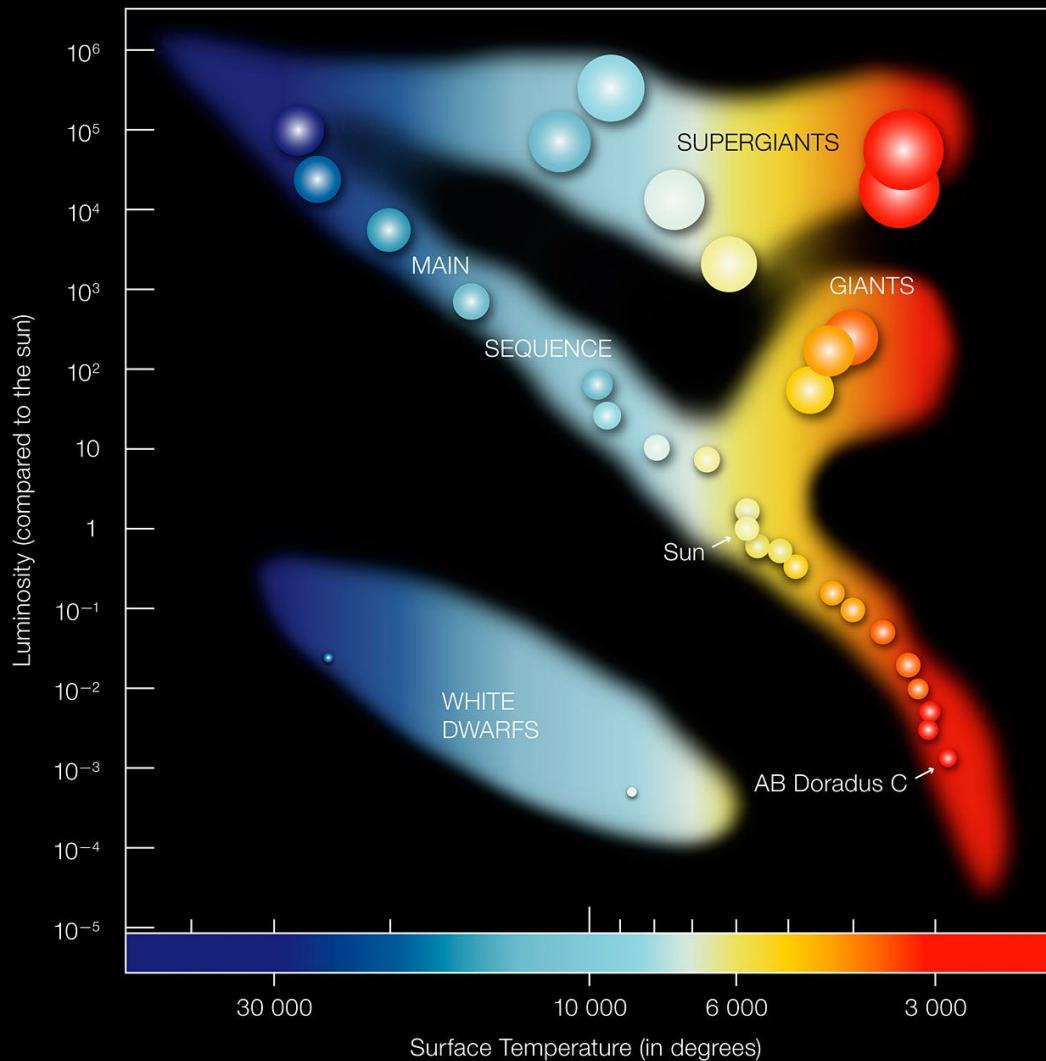


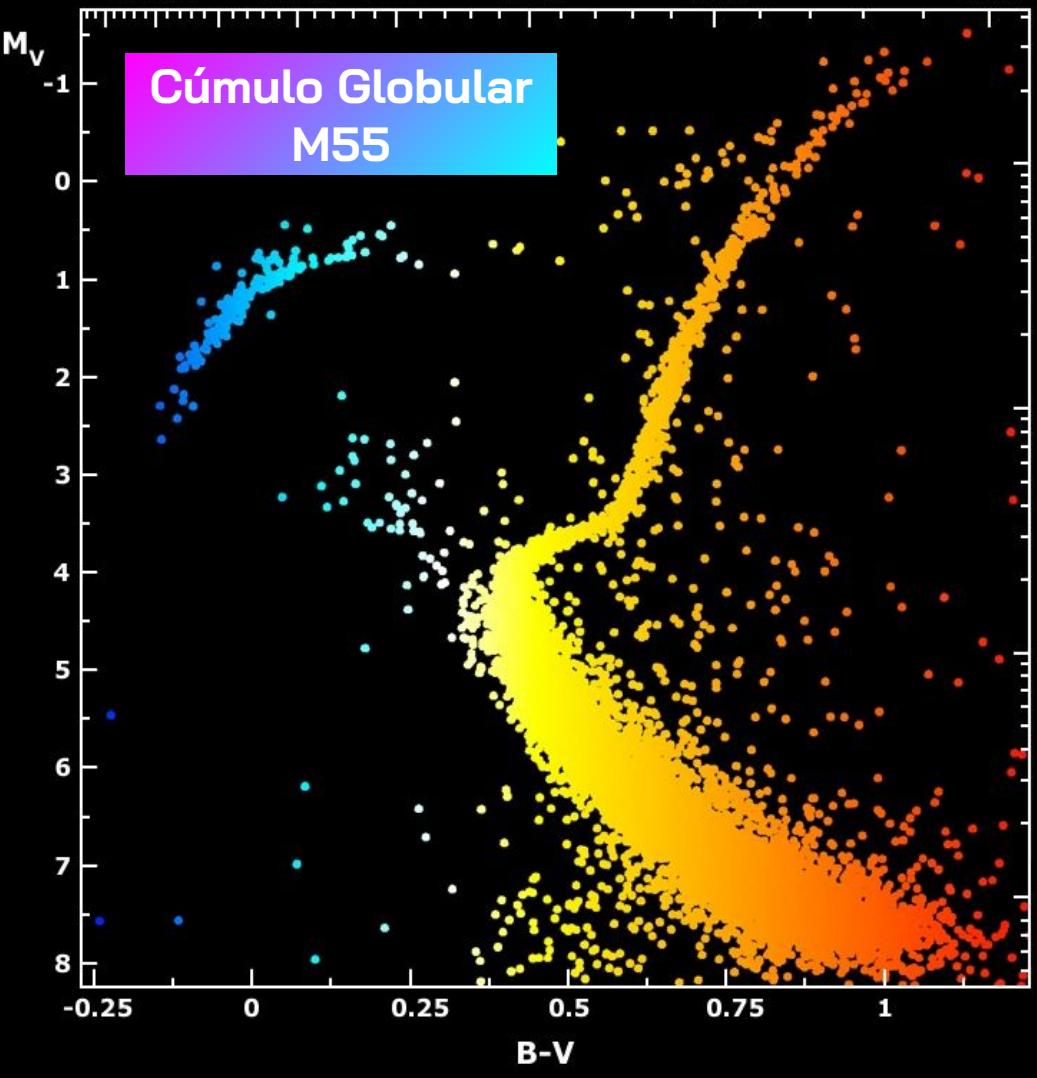
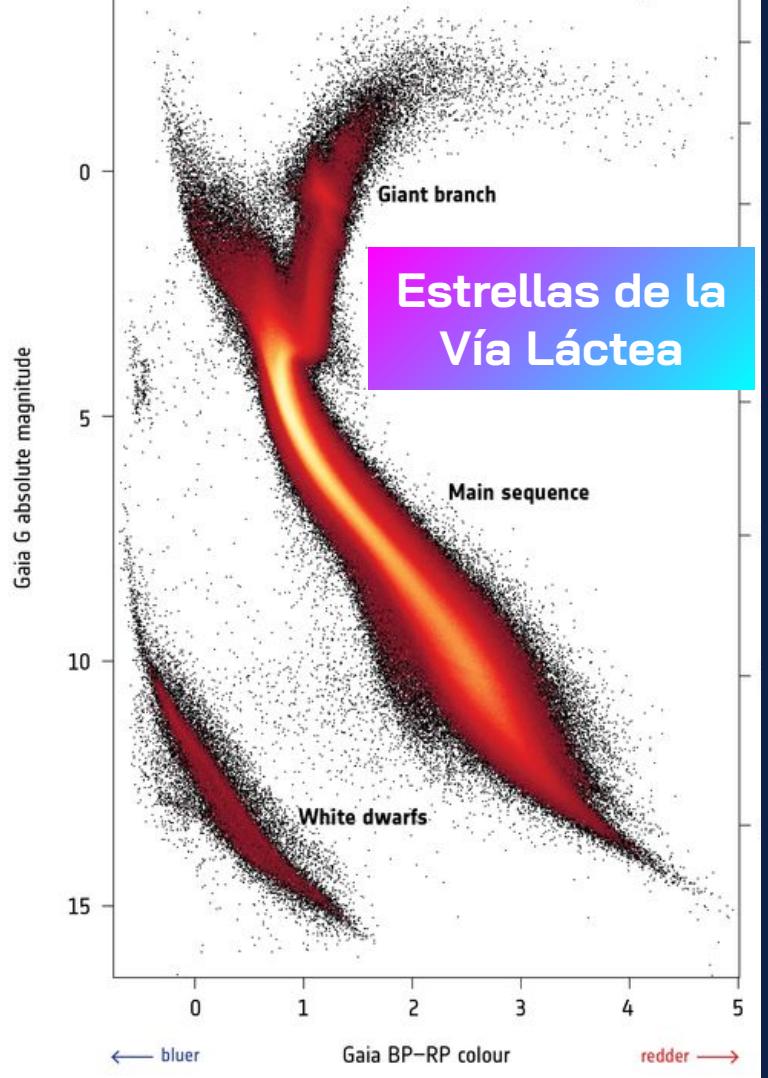
5. Enana blanca

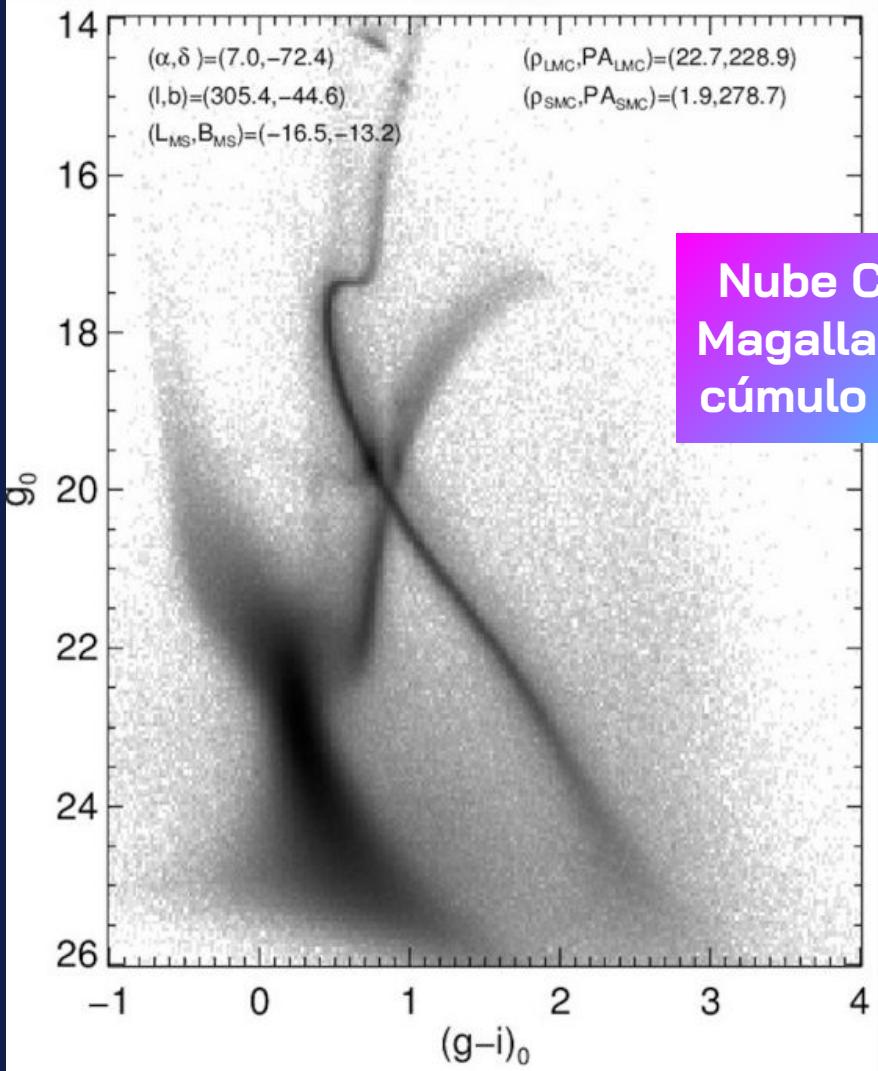
¿CÓMO SE VERÍA UN DIAGRAMA HR?

Es como tomar una foto a un grupo de estrellas que están en distintas etapas de su vida

¿Y CON
DATOS REALES?

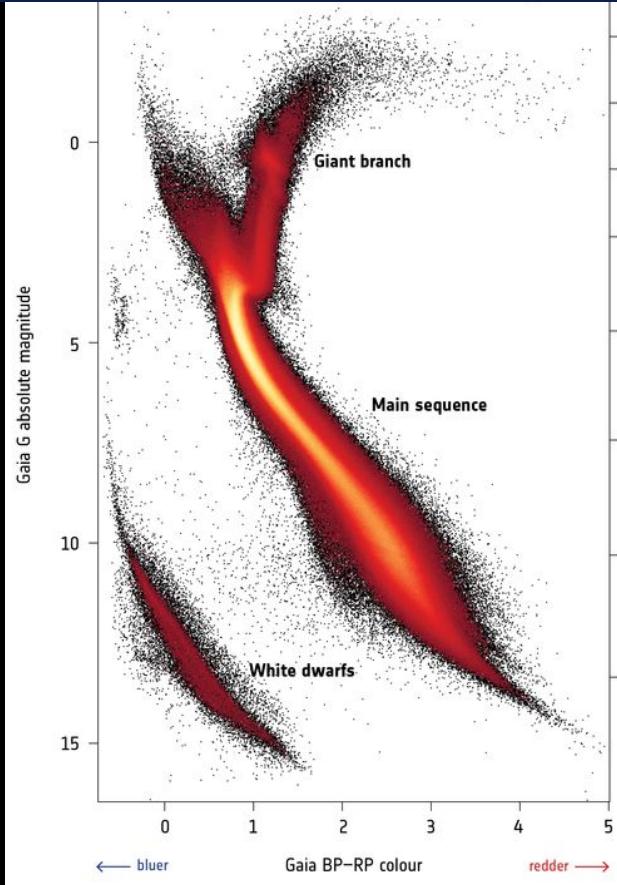
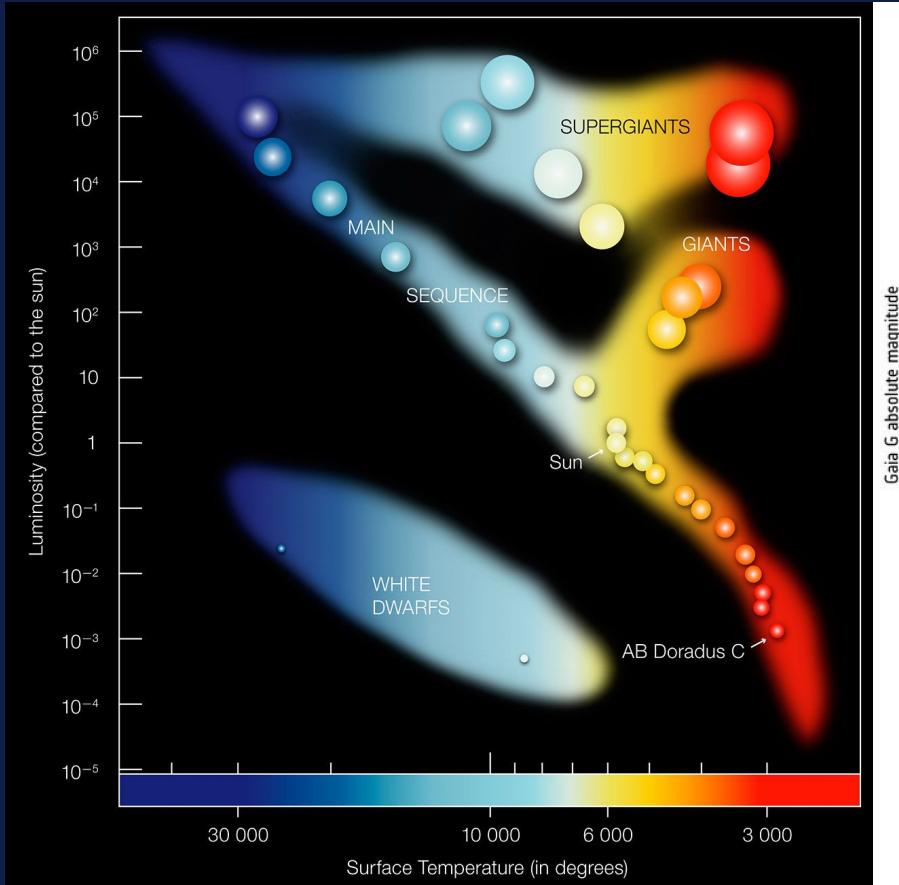






Nube Chica de
Magallanes y un
cúmulo globular

¿QUÉ DIFERENCIAS HAY ENTRE ESTOS GRÁFICOS?



¿QUÉ DIFERENCIAS HAY ENTRE ESTOS GRÁFICOS? LOS EJES!

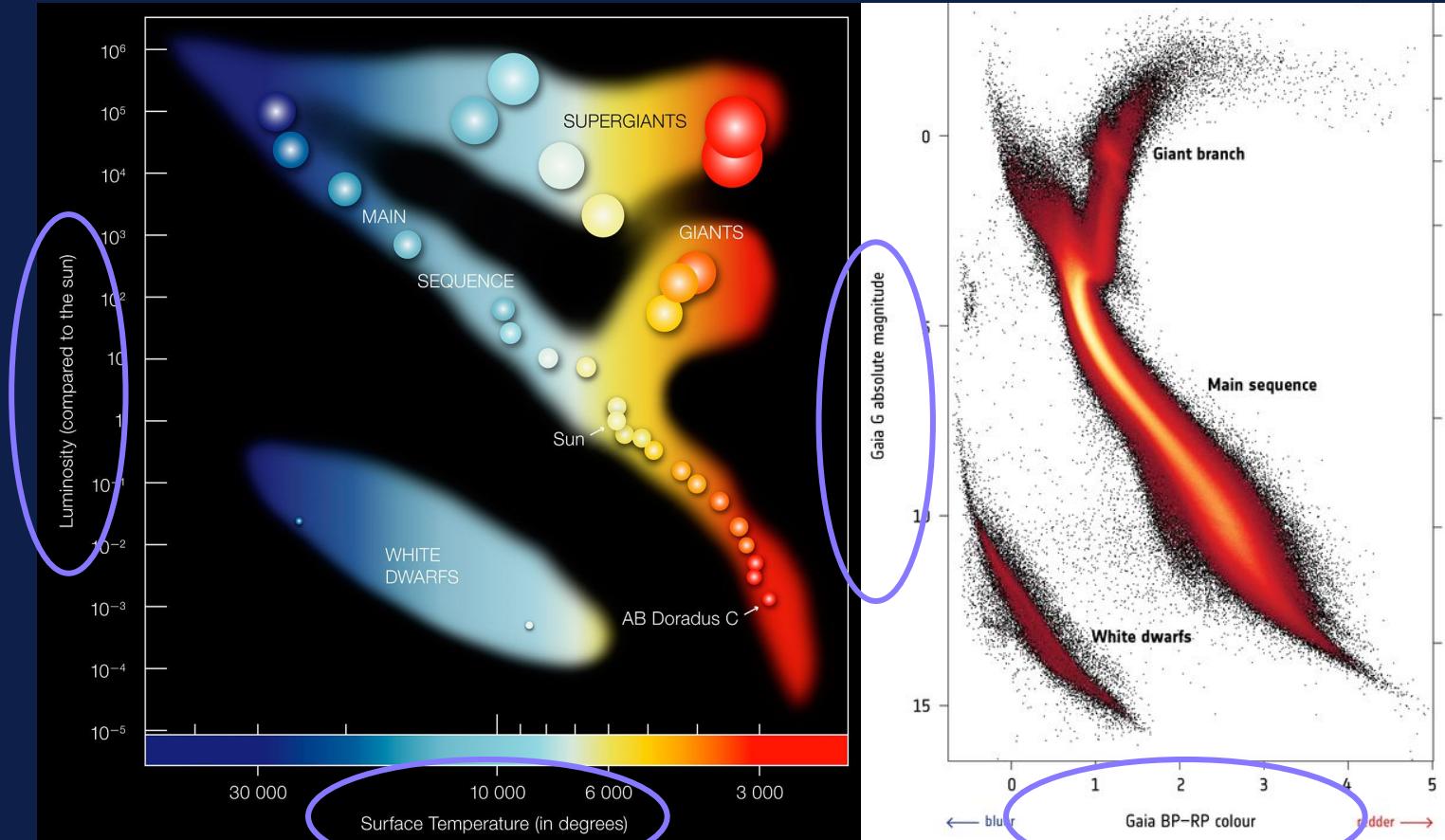


Diagrama HR

Grafica luminosidad y temperatura

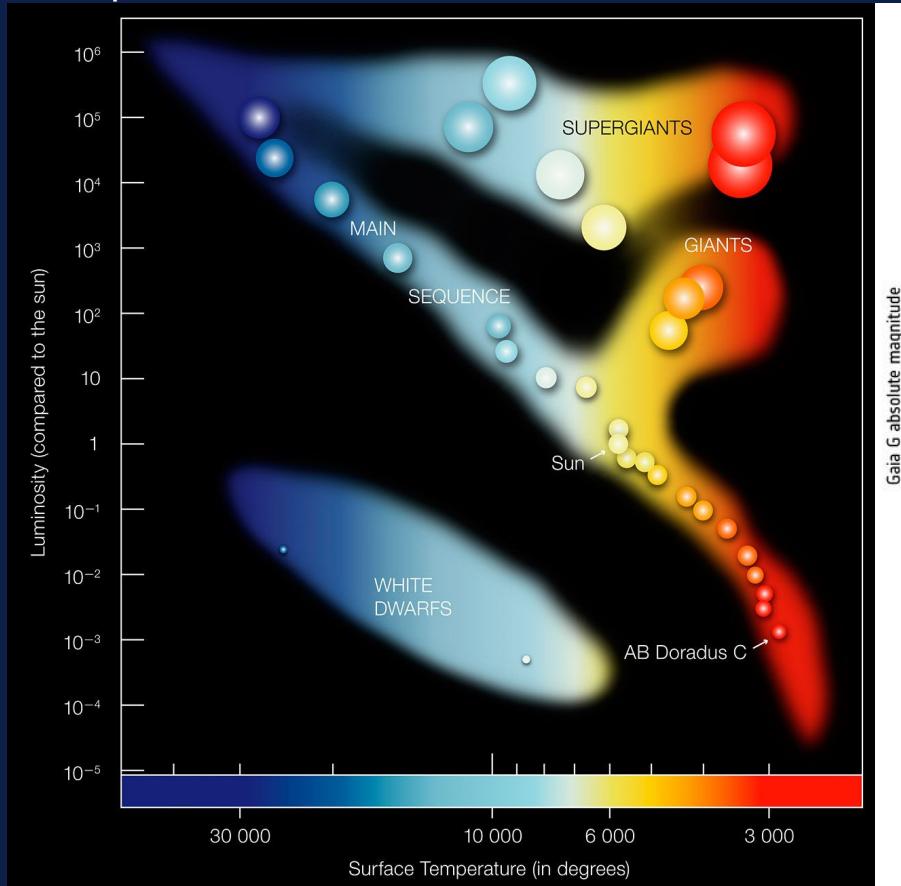
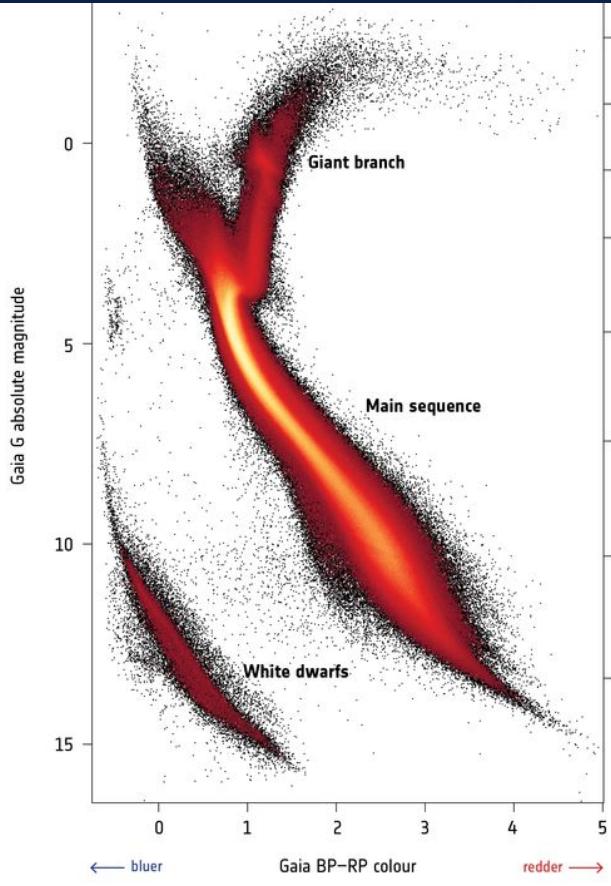


Diagrama color-magnitud

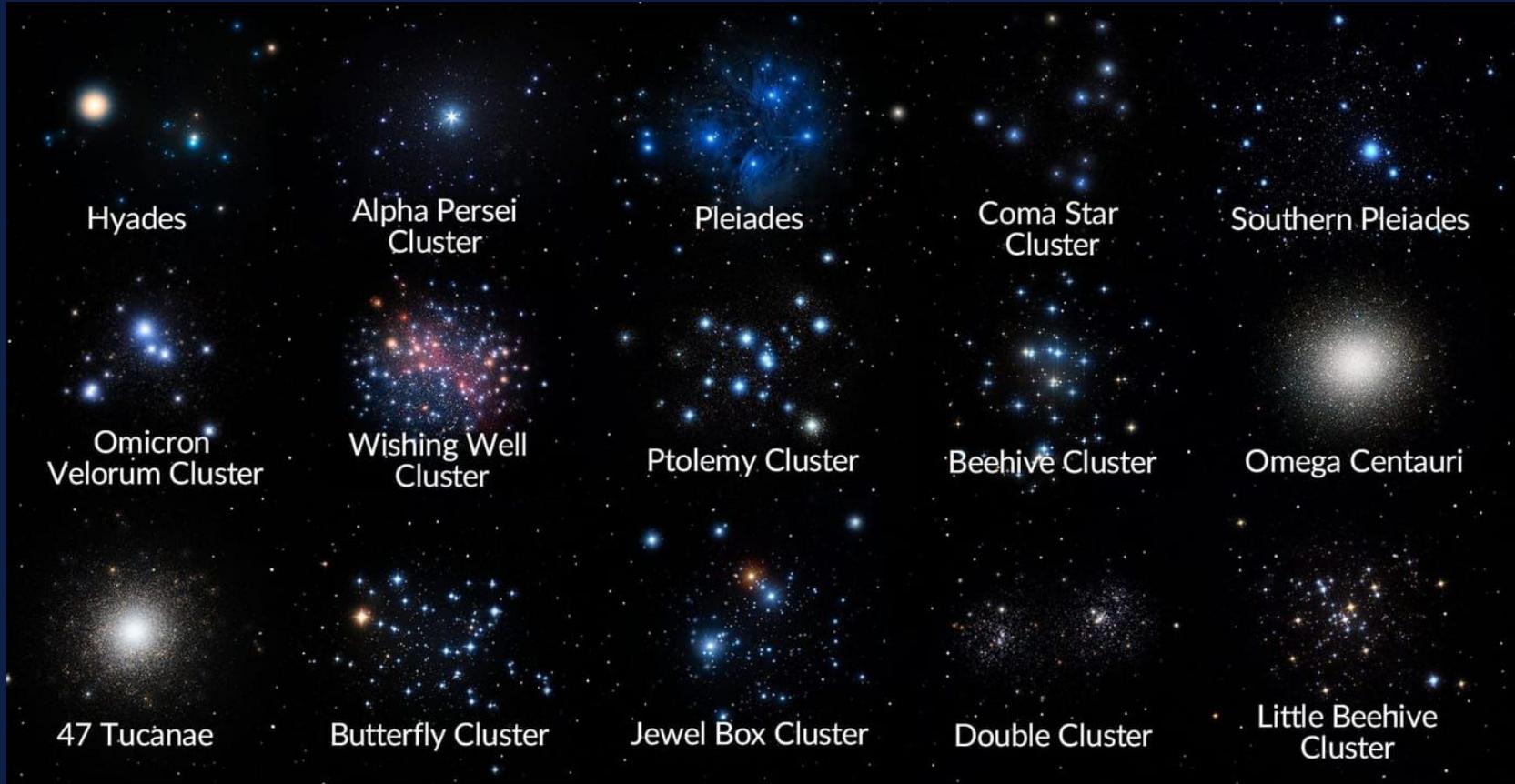
Es más fácil de hacer



NUESTRA GALAXIA NO ESTÁ SOLA

- Dwarf galaxy
- Globular cluster

CÚMULOS DE ESTRELLAS

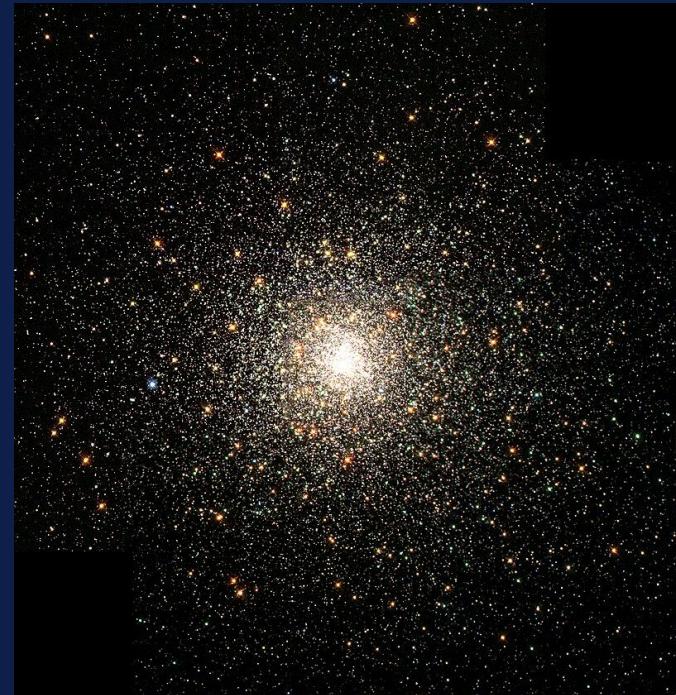


CÚMULOS DE ESTRELLAS

Cúmulo abierto



Cúmulo cerrado
(Cúmulo Globular)

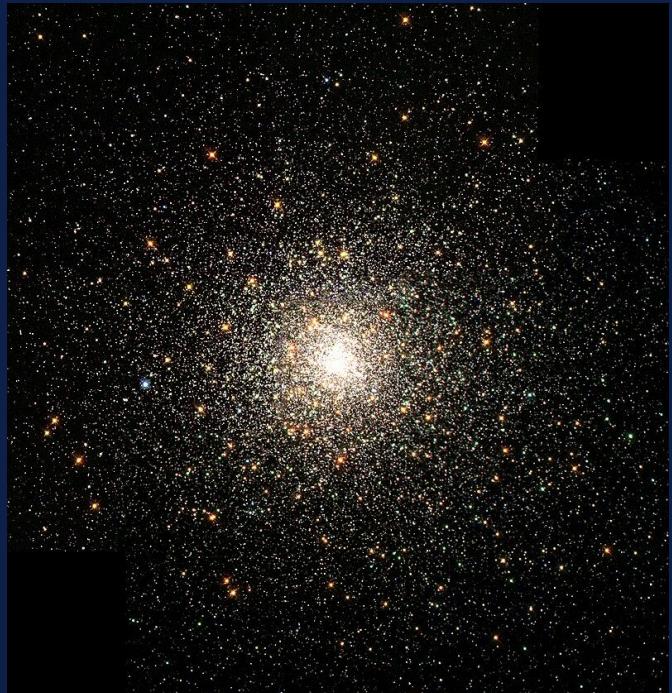


CÚMULOS DE ESTRELLAS

Son considerados como **Poblaciones estelares Simples (SSP)**

SSP

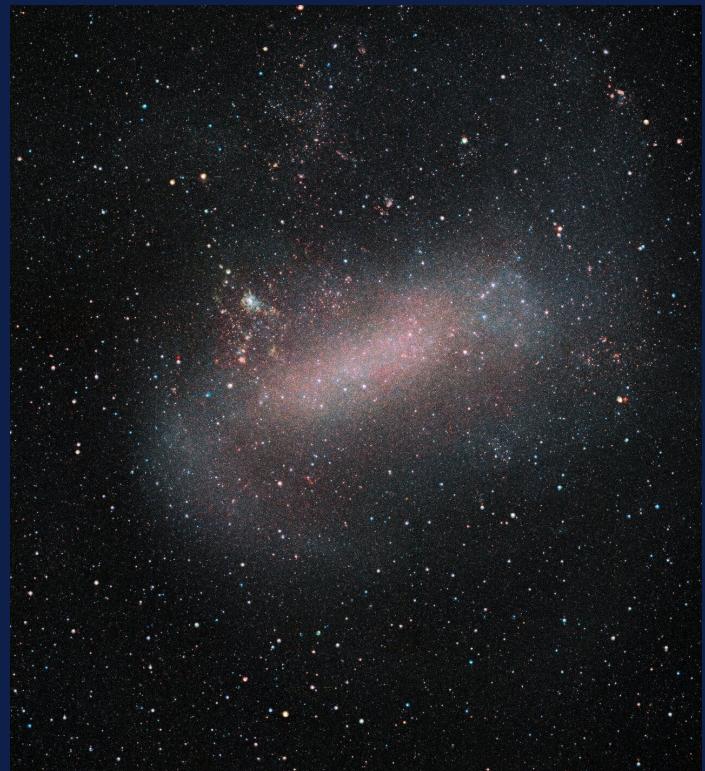
Grupo de estrellas que se formaron en la misma región y al mismo tiempo, y por lo tanto, tienen una edad y composición química similar.



GALAXIAS ENANAS

Poblaciones estelares Simples Compuestas

Conjunto de SSP con diferentes características como edades y composición química



¿QUÉ PODEMOS ESTUDIAR DE UNA AGRUPACIÓN DE ESTRELLAS?

Tasa de Formación Estelar (SFR)

Cuántas estrellas nacen en un año.

Historia de Formación Estelar (SFH)

Cómo ha cambiado la tasa de formación estelar a lo largo del tiempo.

SFH no se puede medir
¿Cómo obtenerla?

Síntesis de poblaciones estelares

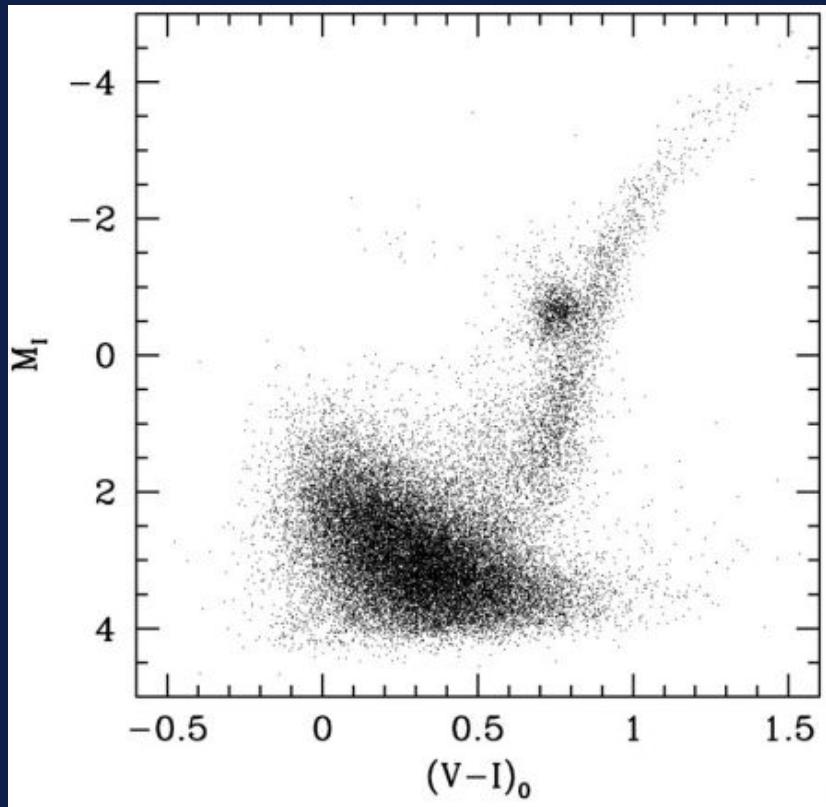
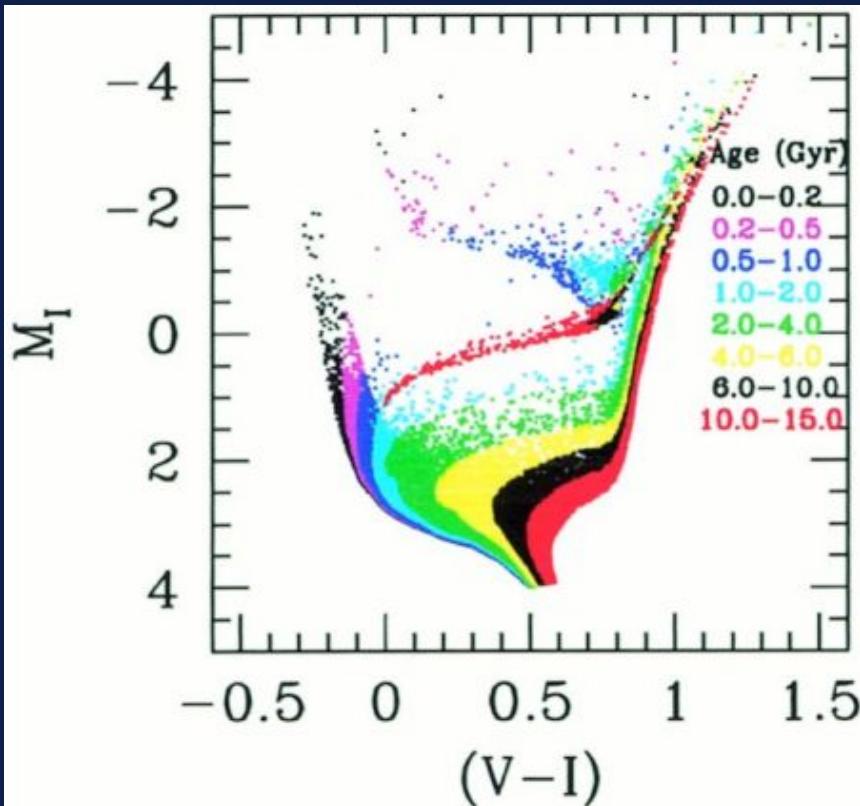


Diagrama color magnitud de galaxia enana Leo I

¿Qué Historia de Formación Estelar puede recrear este diagrama color magnitud?

Síntesis de poblaciones estelares (Modelamiento)



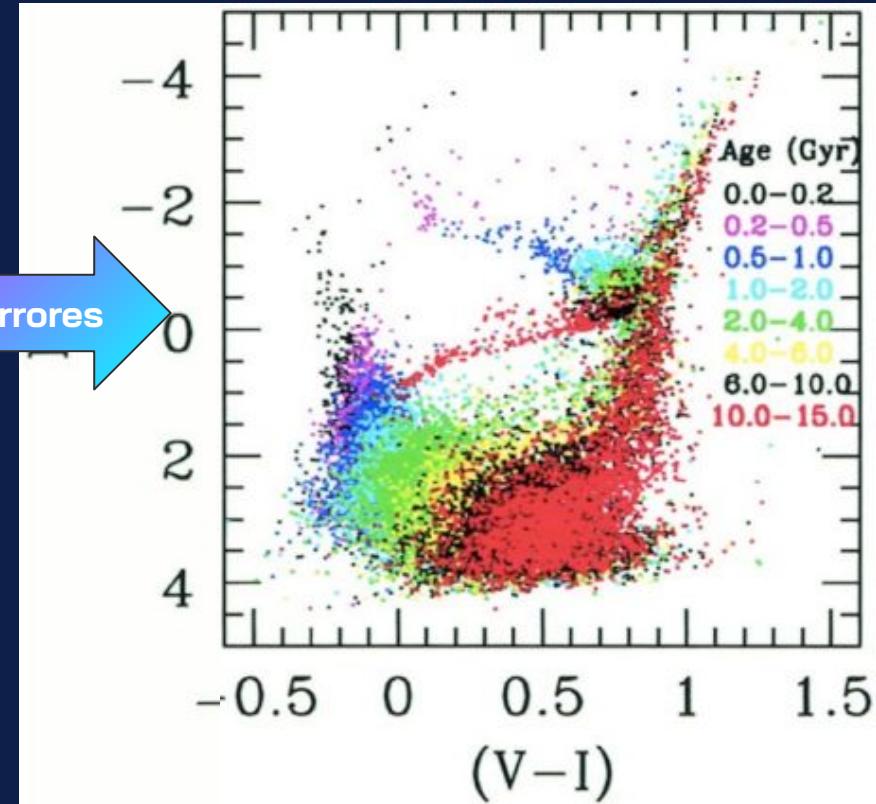
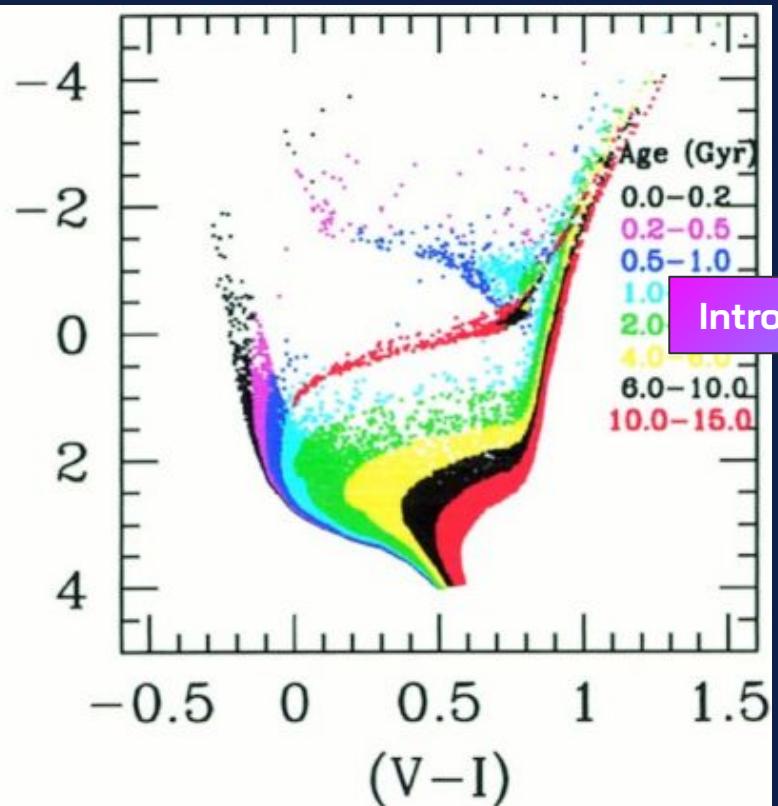
Se crean varias SSP (poblaciones estelares simples) a distintas edades.

Cada una tiene asociada:

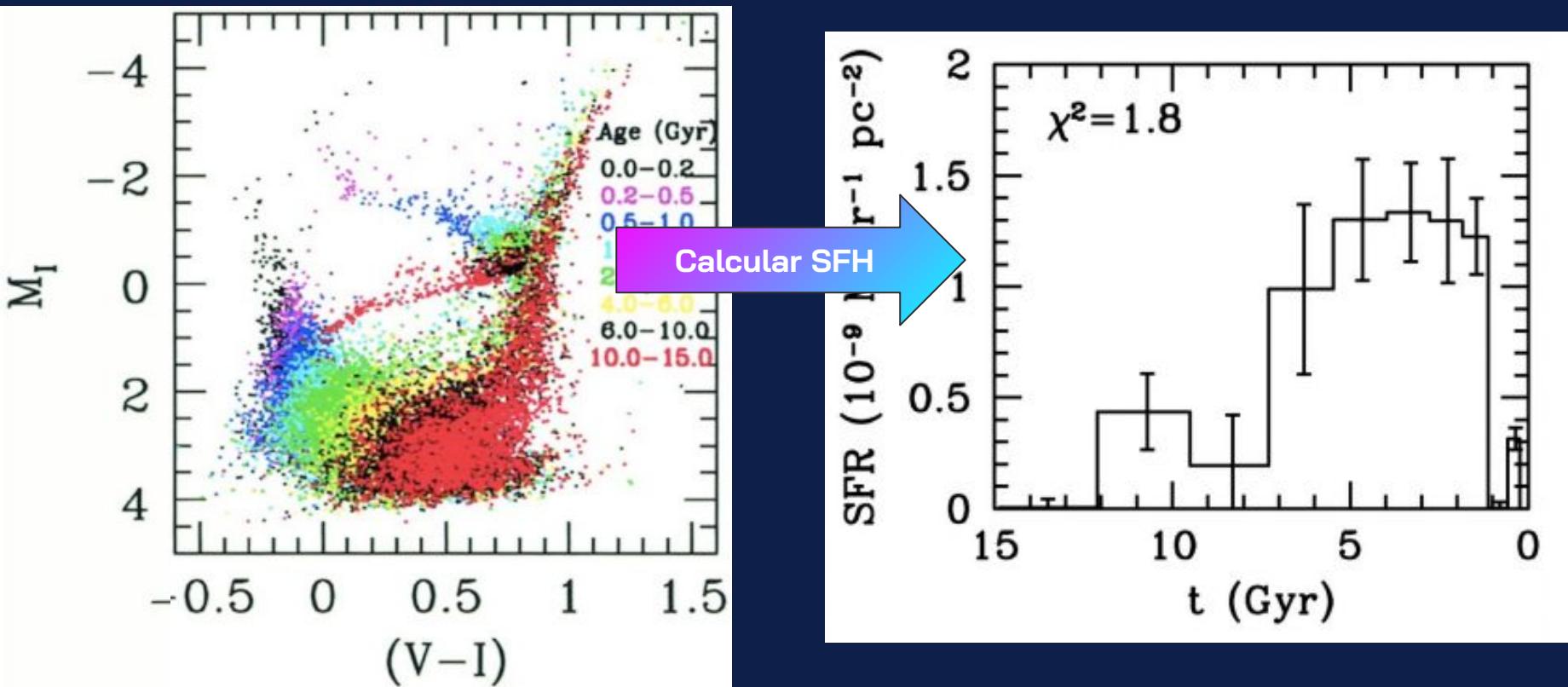
- composición química
- edad
- Función de masa Inicial (IMF): cuántas estrellas de hay en distintos rangos de masa

Síntesis de poblaciones estelares (Modelamiento)

M_1

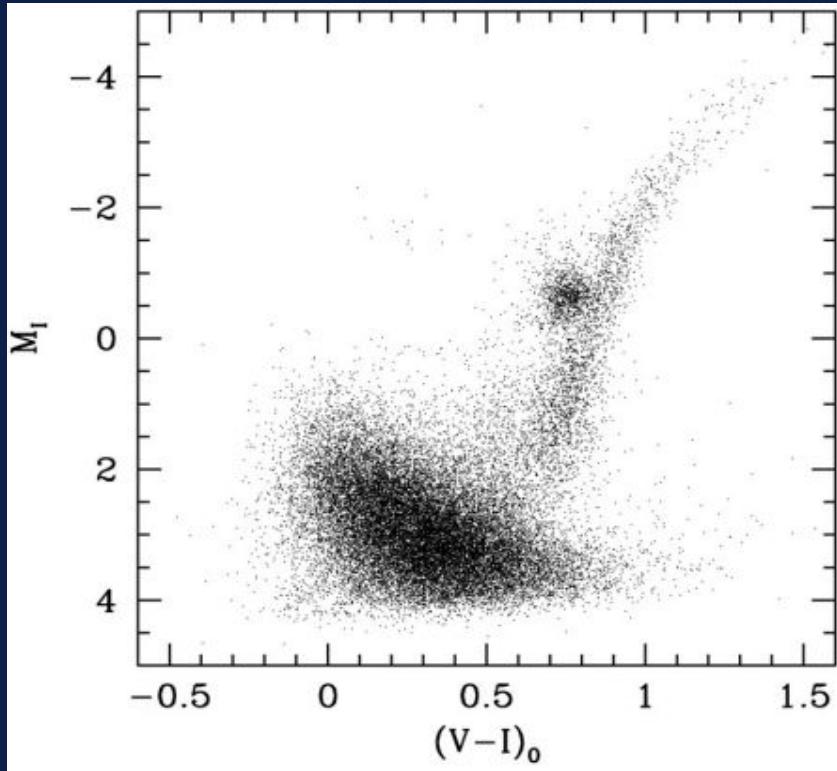


Síntesis de poblaciones estelares (Modelamiento)



Síntesis de poblaciones estelares (Resultado)

Observado



Modelo

