

20 - Evolución de las estrellas - Formación Estelar



Evolución estelar

- Las estrellas son como la gente en cuanto nacen, crecen, maduran y mueren.
- La **masa** de una estrella determina qué camino tomará su vida.
- Dividiremos todas las estrellas en tres grupos:
 - Masa baja ($0.08 M_{\odot} < M < 2 M_{\odot}$)
 - Masa intermedia ($2 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$)
 - Masa alta ($M > 8 M_{\odot}$)
- El diagrama HR muestra un plan útil para el seguimiento de la evolución estelar.

- La vida de cualquier estrella puede ser descrita como una lucha entre dos fuerzas:
 - **Gravitación vs. Presión**
- La gravedad siempre quiere el colapso de la estrella.
- Presión sostiene la estrella.
 - el tipo de estrella se define por lo que proporciona la presión
- Recuerda la Ley de Gravedad de Newton!
 - la cantidad de la fuerza gravitatoria depende de la masa
 - la energía potencial gravitatoria se convierte en calor cuando una estrella colapsa

¿Qué es una estrella?

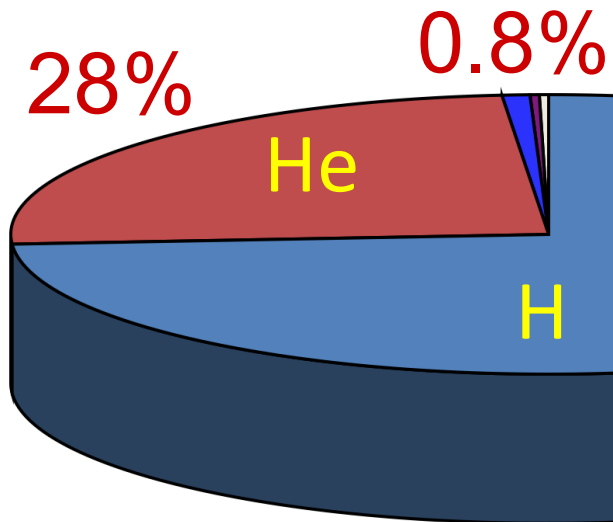
A deep blue night sky filled with numerous stars of varying brightness. Several prominent stars are highlighted with large, glowing circular halos. Faint yellow lines connect some of the stars, forming the outlines of constellations. The overall scene is a rich field of stars against a dark, starry background.

En un sentido general,
podemos decir que una
estrella es un cuerpo celeste
que brilla con luz propia.

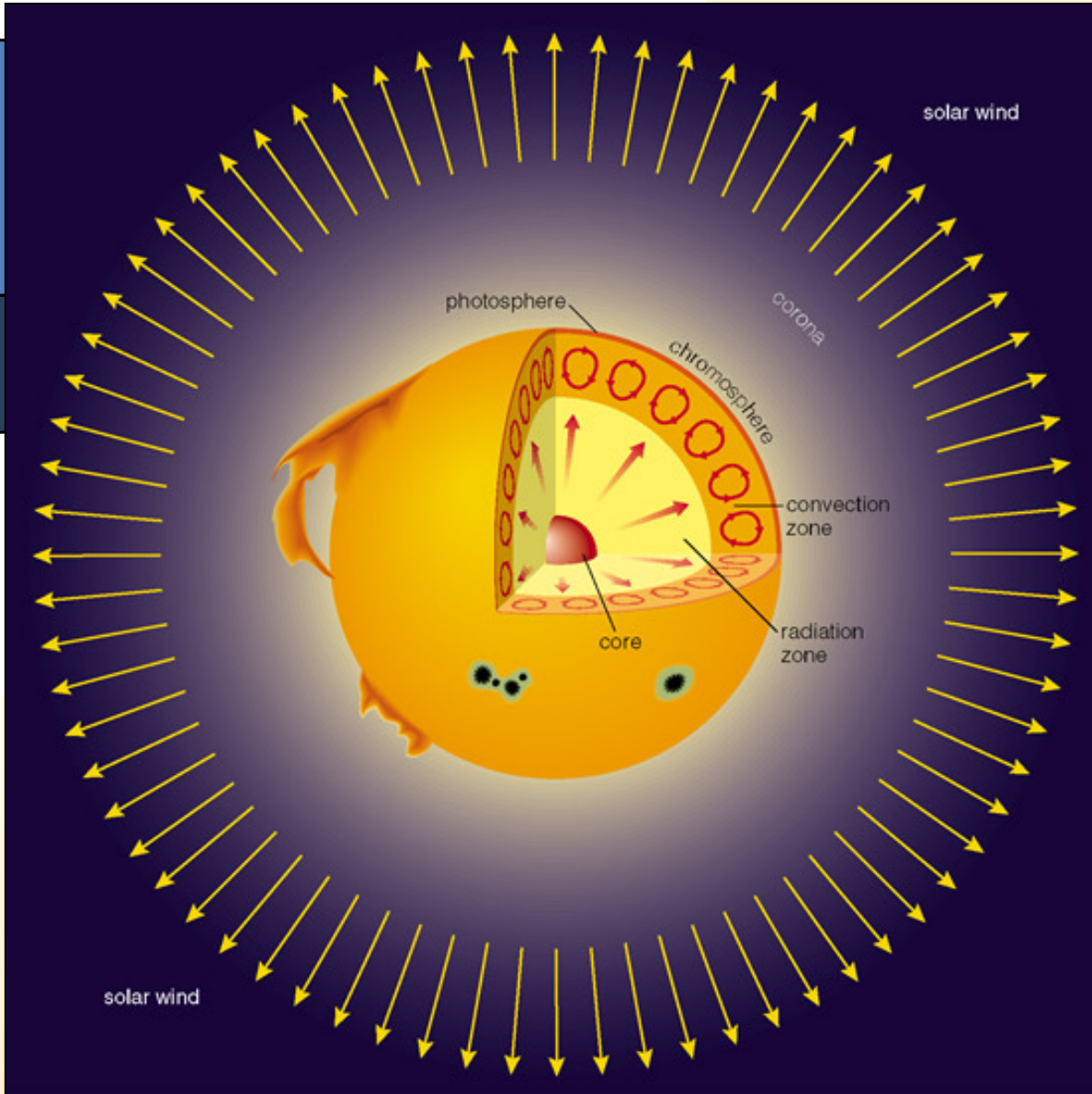
Nuestro Sol es una estrella



Composición del Sol



Capas del Sol



¿Qué es una estrella?

A deep blue night sky filled with numerous stars of varying brightness. Several prominent stars have large, glowing halos or diffraction patterns around them. Faint lines connect some of the stars, suggesting constellations. The overall scene is a rich field of stars.

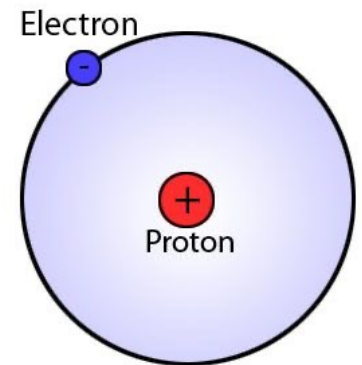
Una estrella es una gran esfera hecha de gas (principalmente hidrógeno), que produce energía (luz) por fusión de hidrógeno en helio en su centro.

Entonces,
necesitamos
gas
(hidrógeno)
para formar
estrellas ...



El gas dentro de una galaxia viene en 3 formas diferentes:

- gas caliente: el átomo de hidrógeno pierde su electrón -> gas ionizado
- gas atómico: a temperaturas medias, el gas hidrógeno está en forma de átomos individuales
- gas frío: aquí el hidrógeno forma moléculas (H_2), el gas se encuentra en nubes oscuras, porque la luz óptica no puede atravesarlo.



Nubes moleculares:



Barnard 68

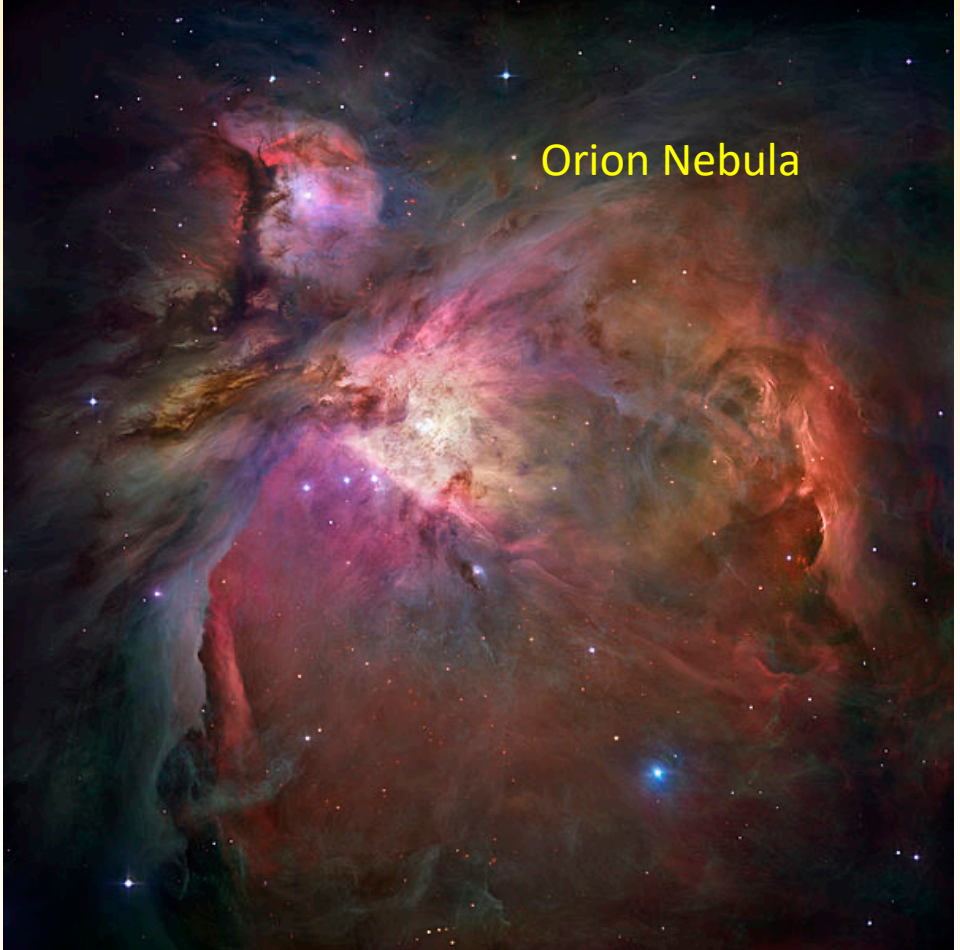
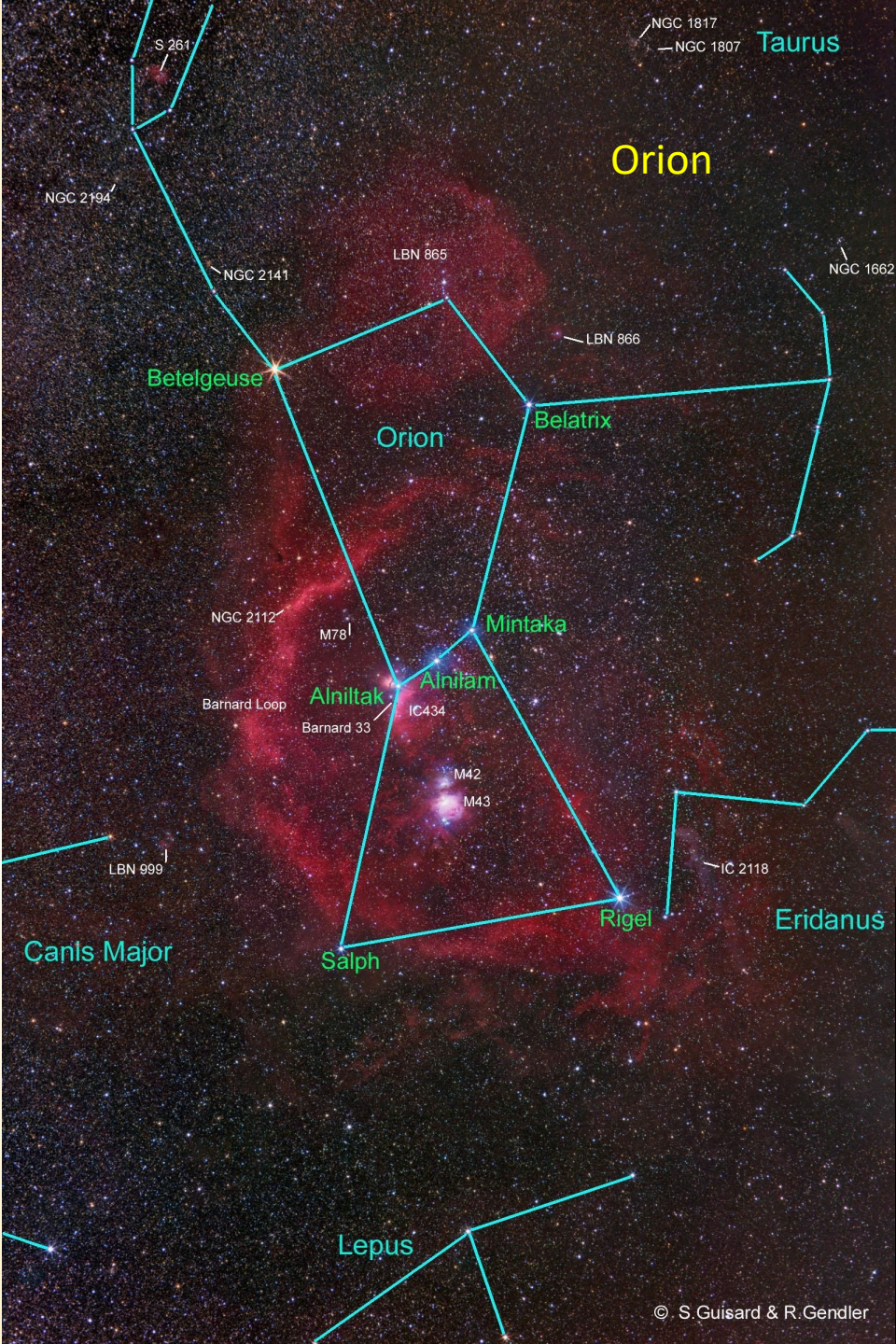
Las estrellas nacen en las nubes moleculares.

Las nubes son nebulas frías (10 - 30 K) y densas.
Tan frías que H_2 pueda existir.

Una nube fría puede fragmentarse si la gravedad supera la presión térmica en las regiones densas. Estas regiones (núcleos) se vuelven más densas y compactas



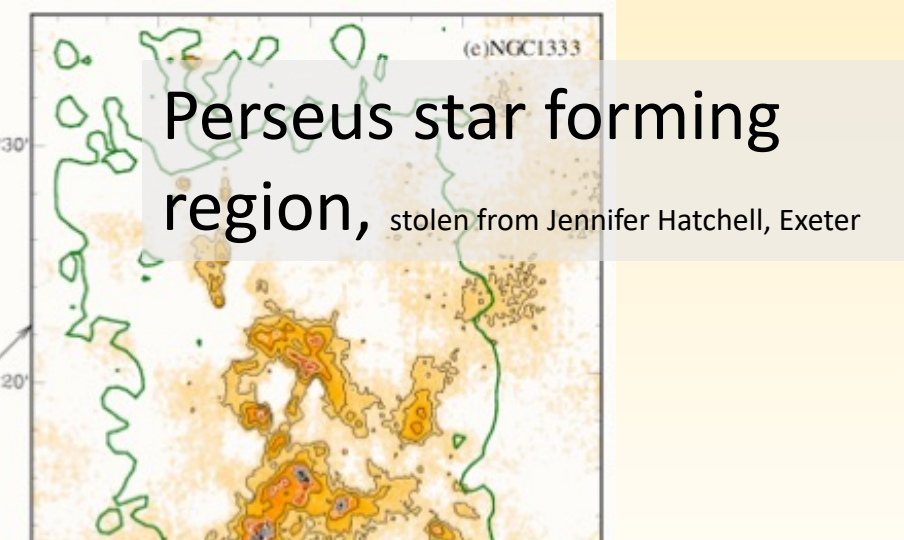
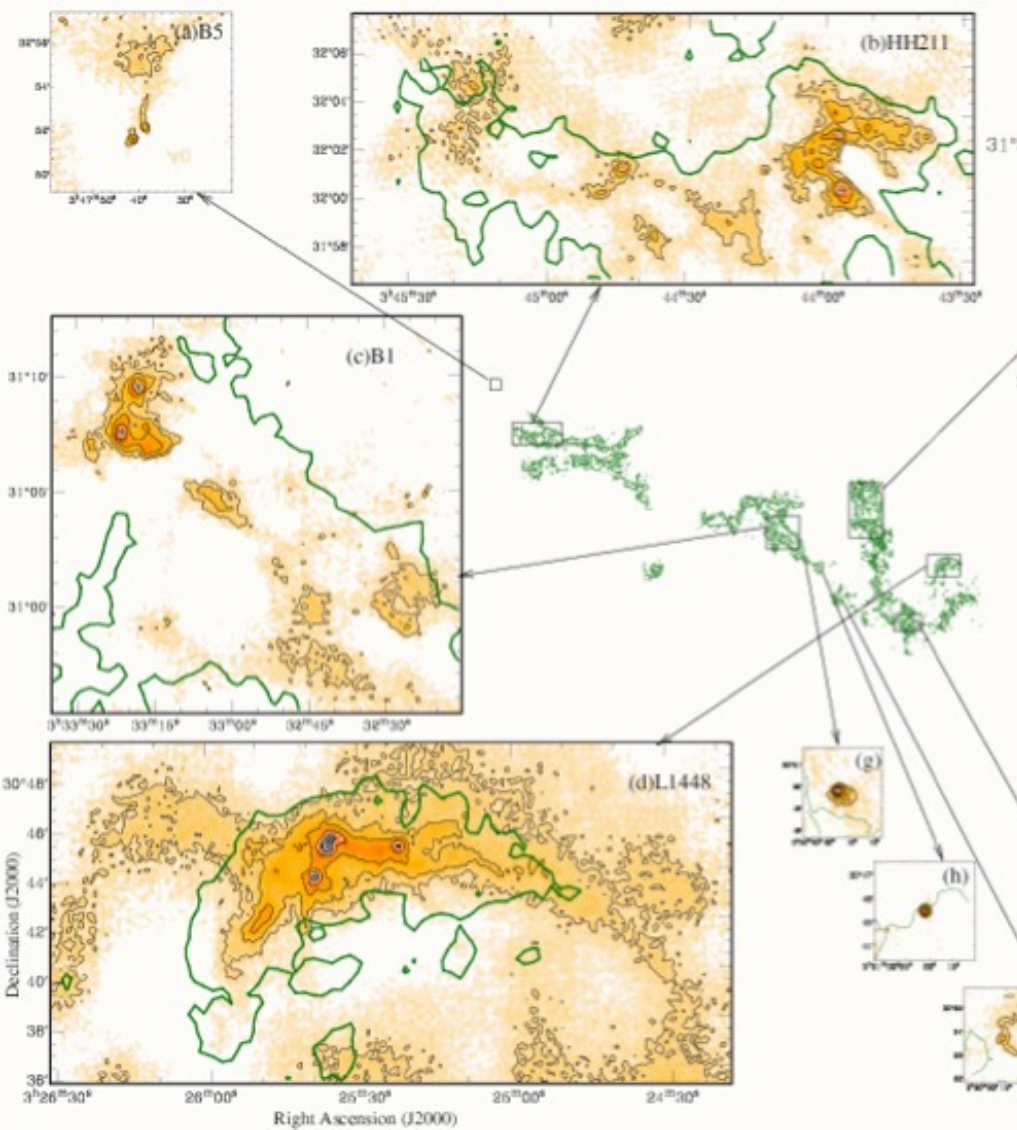
Nube
molecular
con estrellas
jóvenes.



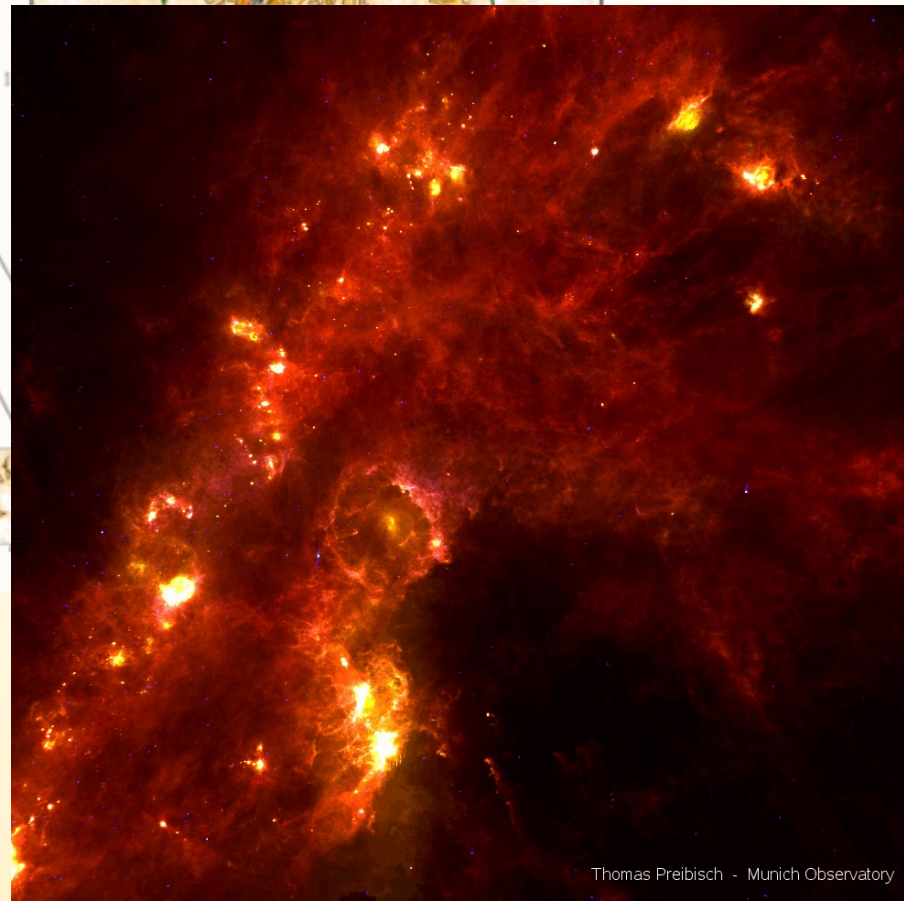
- La formación estelar ocurre en el colapso y la fragmentación de regiones en el interior de las nubes moleculares.



- Una región fría en una nube molecular no tiene suficiente presión de su temperatura para soportar la gravedad.
- El gas en esta región colapsa.
- Este colapso no es uniforme, sino que conduce a la fragmentación en grupos, los cuales colapsan adicionales.
- Dentro de estos grupos tenemos más fragmentación en núcleos de formación estelar.
- Un núcleo de formación de estrellas alberga una hasta tres proto-estrellas.



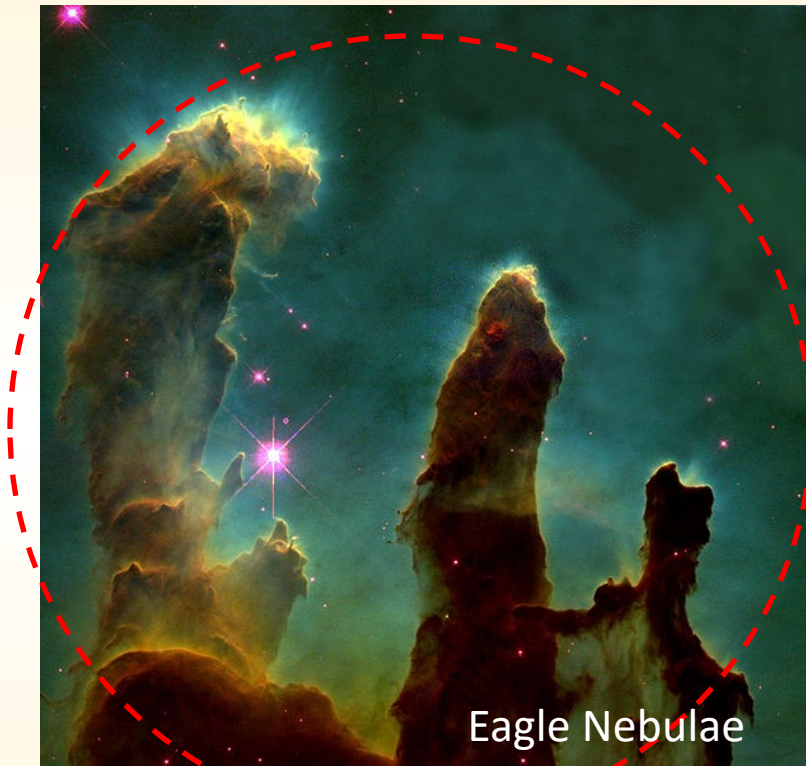
Perseus star forming region, stolen from Jennifer Hatchell, Exeter



Taurus, Perseus and Orion (IRAS)



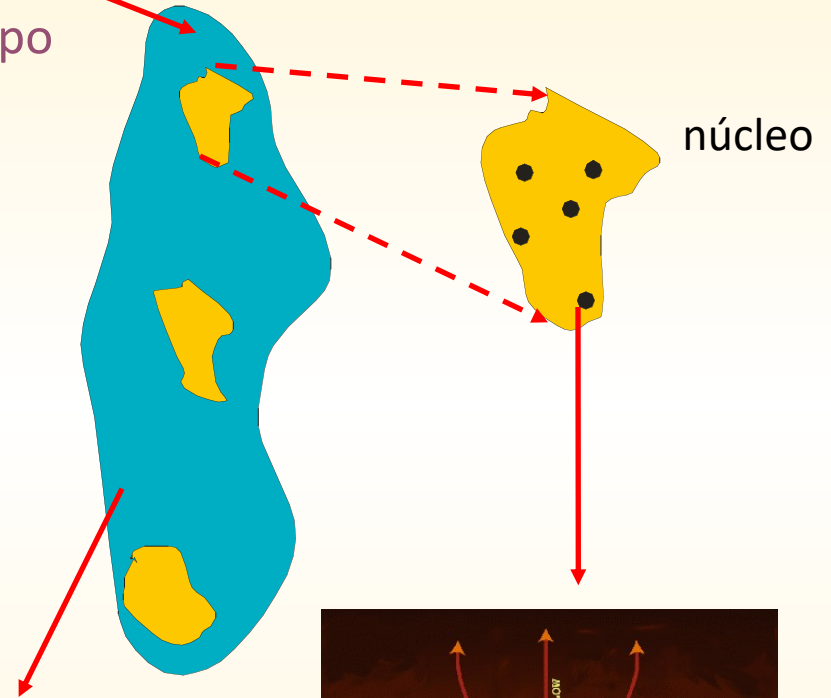
Formación estelar y cúmulos estelares



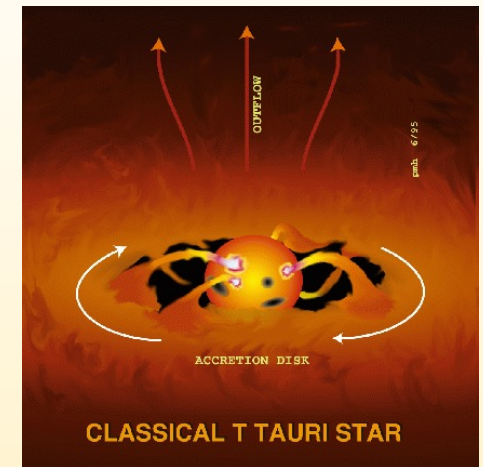
Nebulosa del Águila

gas molecular

Clump/
Grupo



Proto-estrella



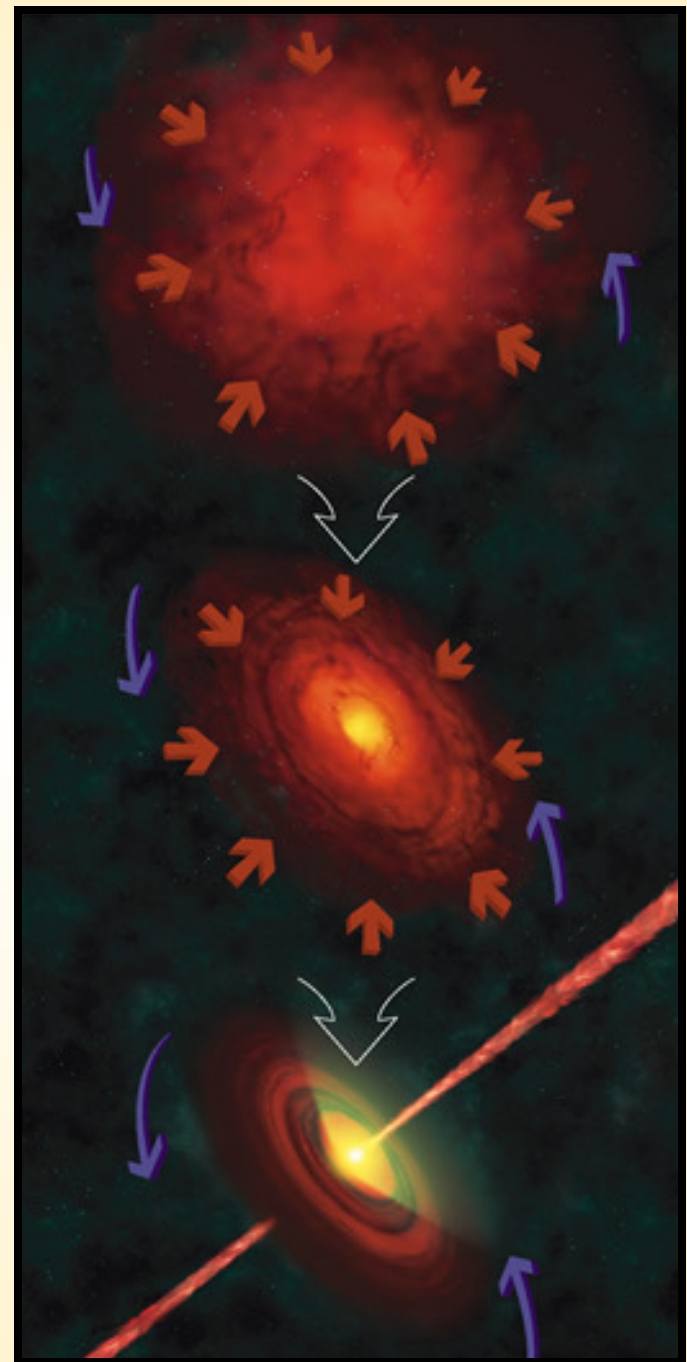
Formación estelar

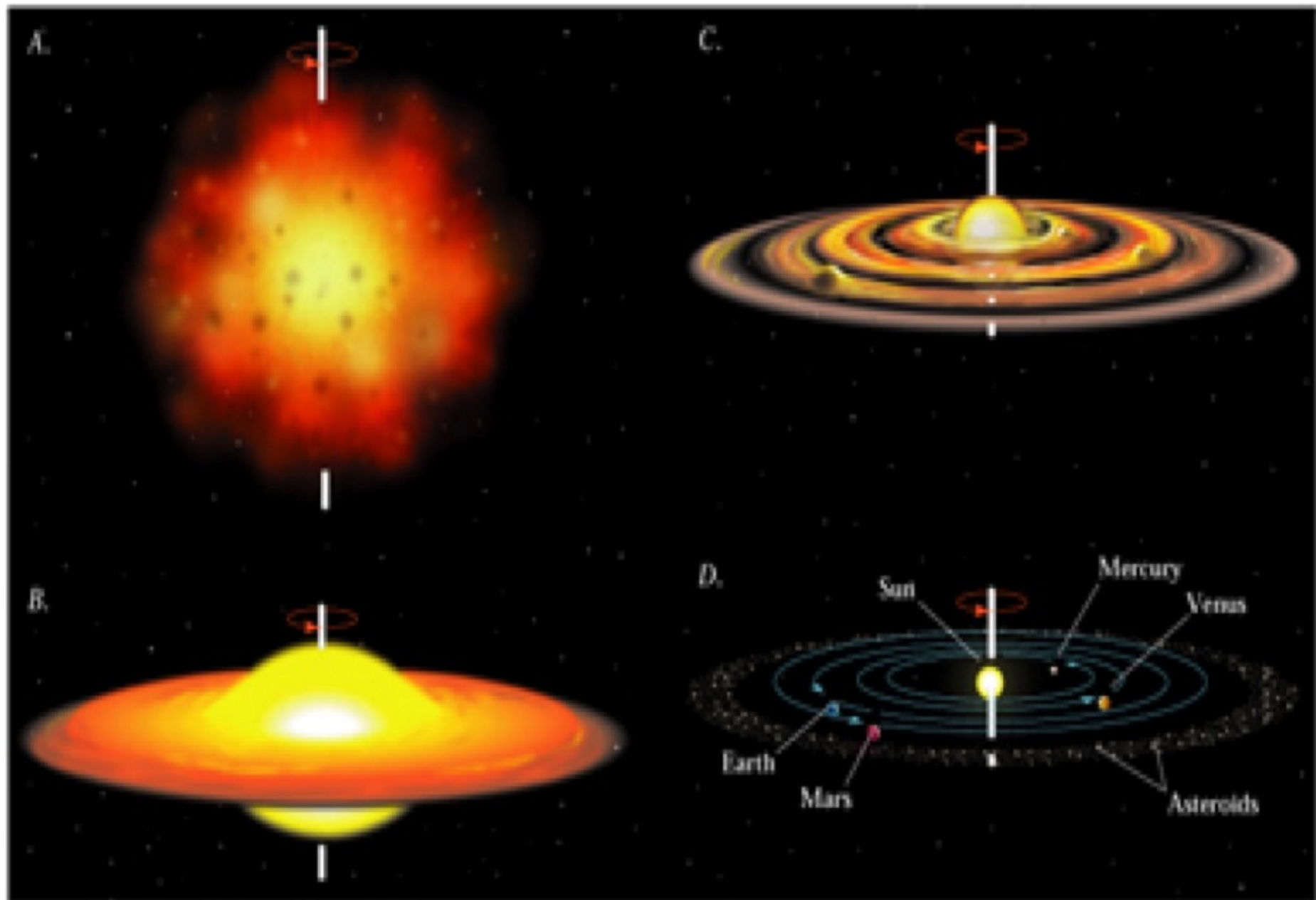
A medida que la proto-estrella se derrumba, el momento angular se conserva.

La proto-estrella gira más rápido.

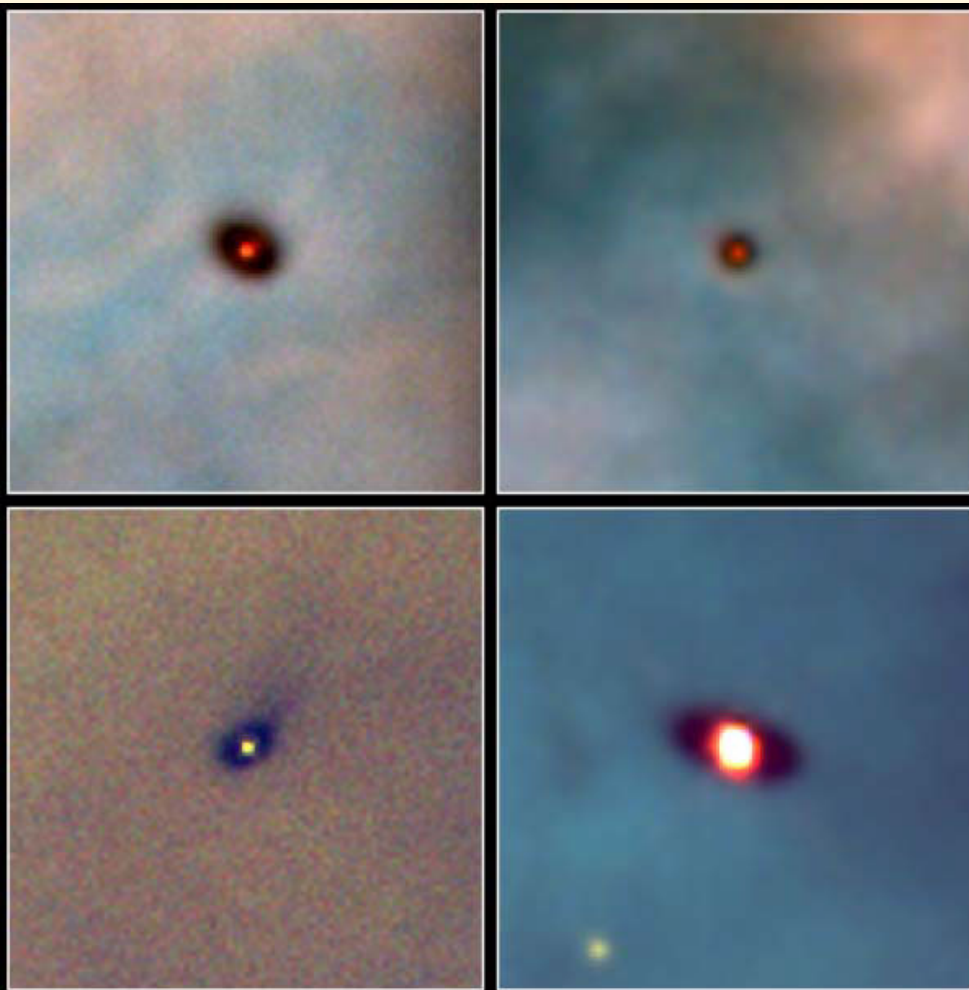
La materia que cae a la proto-estrella se aplana en un disco (proto-estelar).

Un sistema planetario podría formarse a partir de este disco.





Discos Proto-planetarios en Orion:

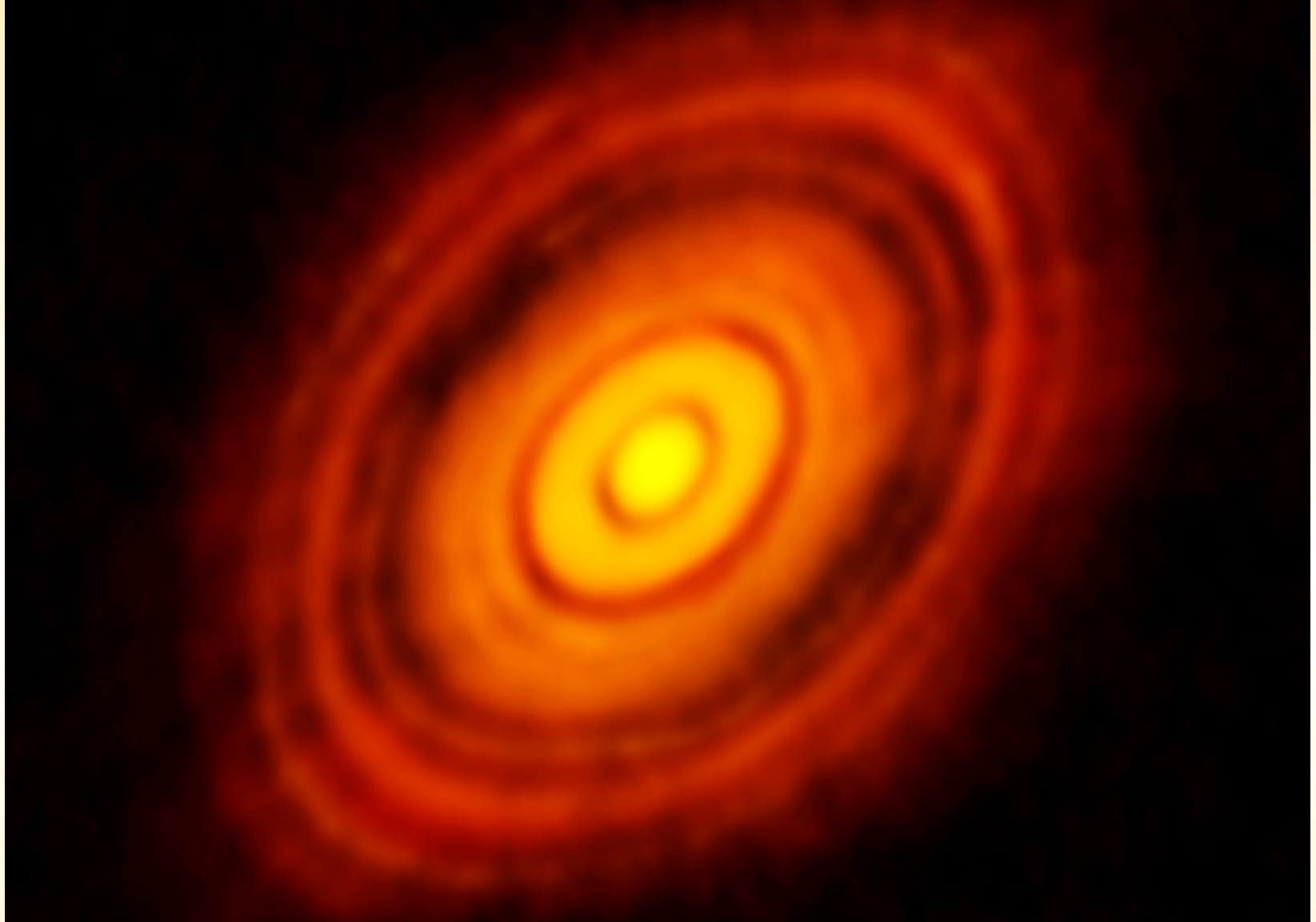


**Protoplanetary Disks
Orion Nebula**

HST · WFPC2

PRC95-45b · ST ScI OPO · November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

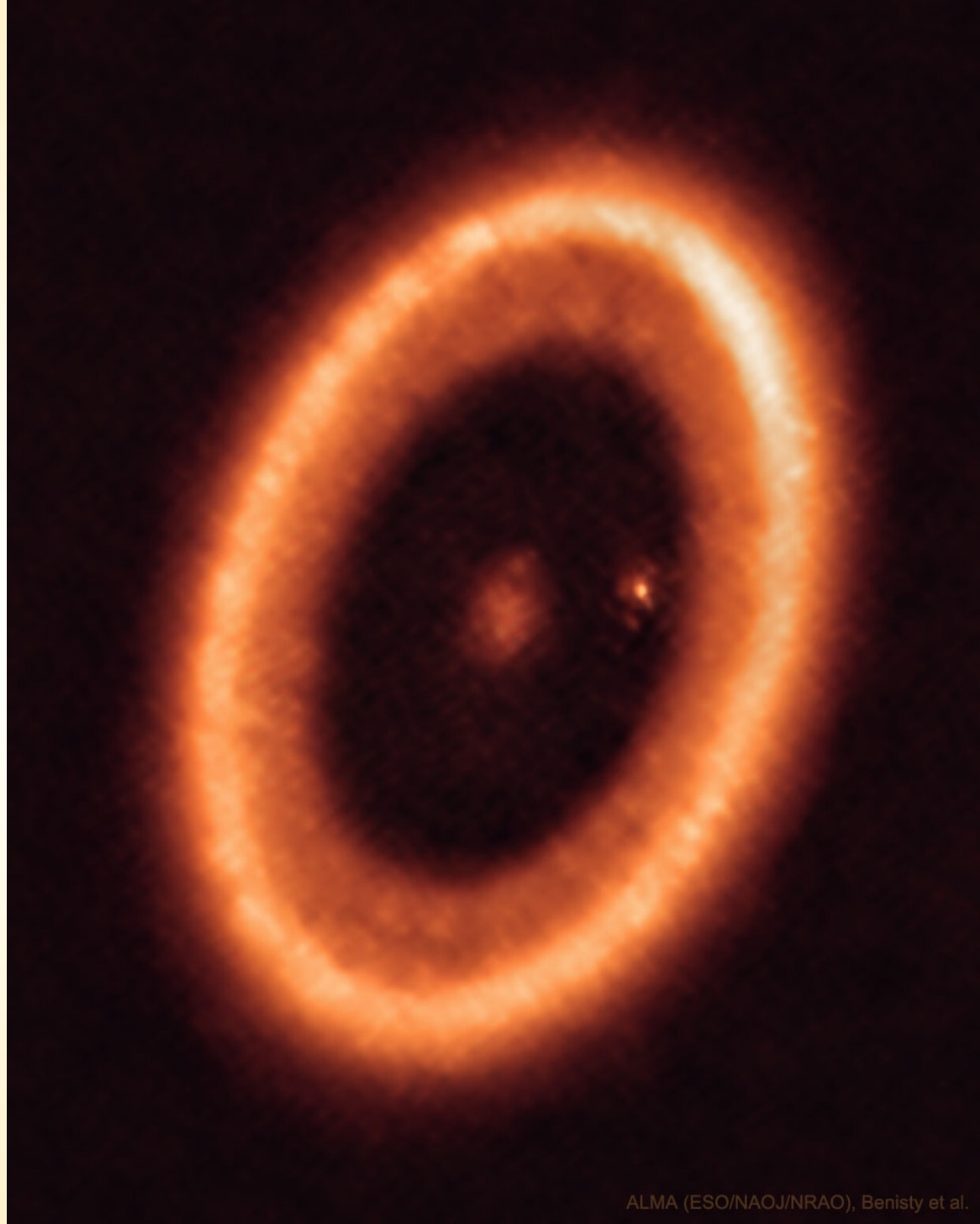
Normalmente son de un tamaño de 100 -1000 UA, con masas de 0.01 - 0.1 de la masa del Sol. La masa y el radio del disco aumenta con el aumento de masa estelar. Fueron encontrados alrededor de casi todas las estrellas jóvenes.



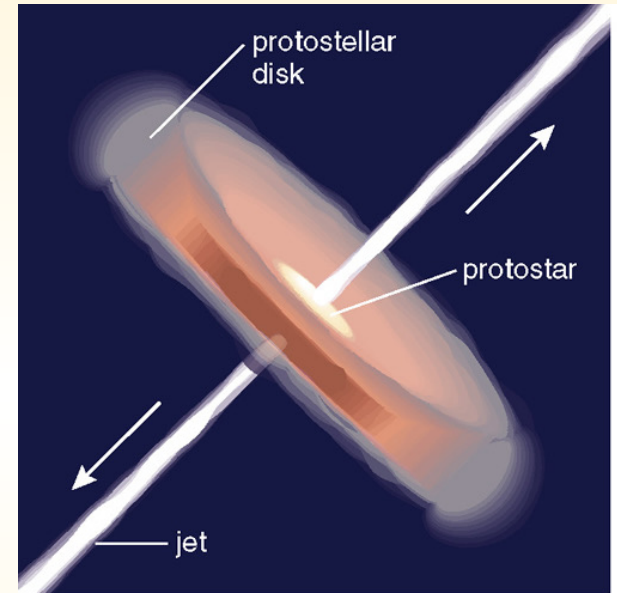
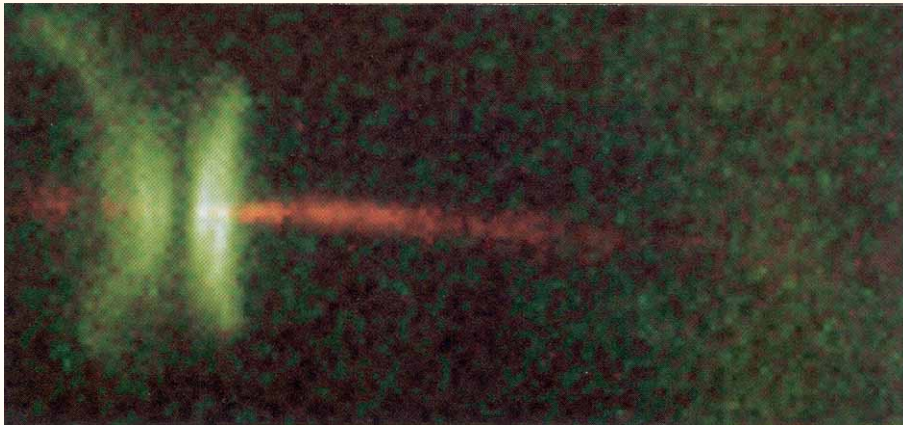
Nueva observacion (2015) de la estrella HL Tauri con su disco proto-planetario del telescopio ALMA.

Descubrimiento reciente con ALMA

No es el gran anillo lo que llama más la atención. Aunque el gran anillo de formación de planetas alrededor de la estrella PDS 70 está claramente representado y es bastante interesante. Tampoco es el planeta de la derecha, justo dentro del gran disco, del que más se habla. Aunque el planeta PDS 70c es un planeta recién formado y, curiosamente, similar en tamaño y masa a Júpiter. Es la mancha borrosa alrededor del planeta PDS 70c la que está causando la conmoción. Se cree que esa mancha borrosa es un disco de polvo que ahora se está formando en lunas, y que nunca antes se había visto. La imagen presentada fue tomada en 2021 por el Atacama Large Millimeter Array (ALMA) de 66 radiotelescopios en el alto desierto de Atacama en el norte de Chile. Basándose en los datos de ALMA, los astrónomos infieren que el disco exoplanetario en formación de la Luna tiene un radio similar al de la órbita de nuestra Tierra, y algún día podría formar tres o más lunas del tamaño de la Luna, no muy diferentes de las cuatro de nuestro Júpiter.



evidencia de chorros



A medida que la proto-estrella se calienta, suficiente energía térmica se irradia desde la superficie para permitir que el colapso continúe.

La energía se transporta a la superficie primeramente por convección.

Como el núcleo central es suficientemente caliente, la radiación transporta la energía.

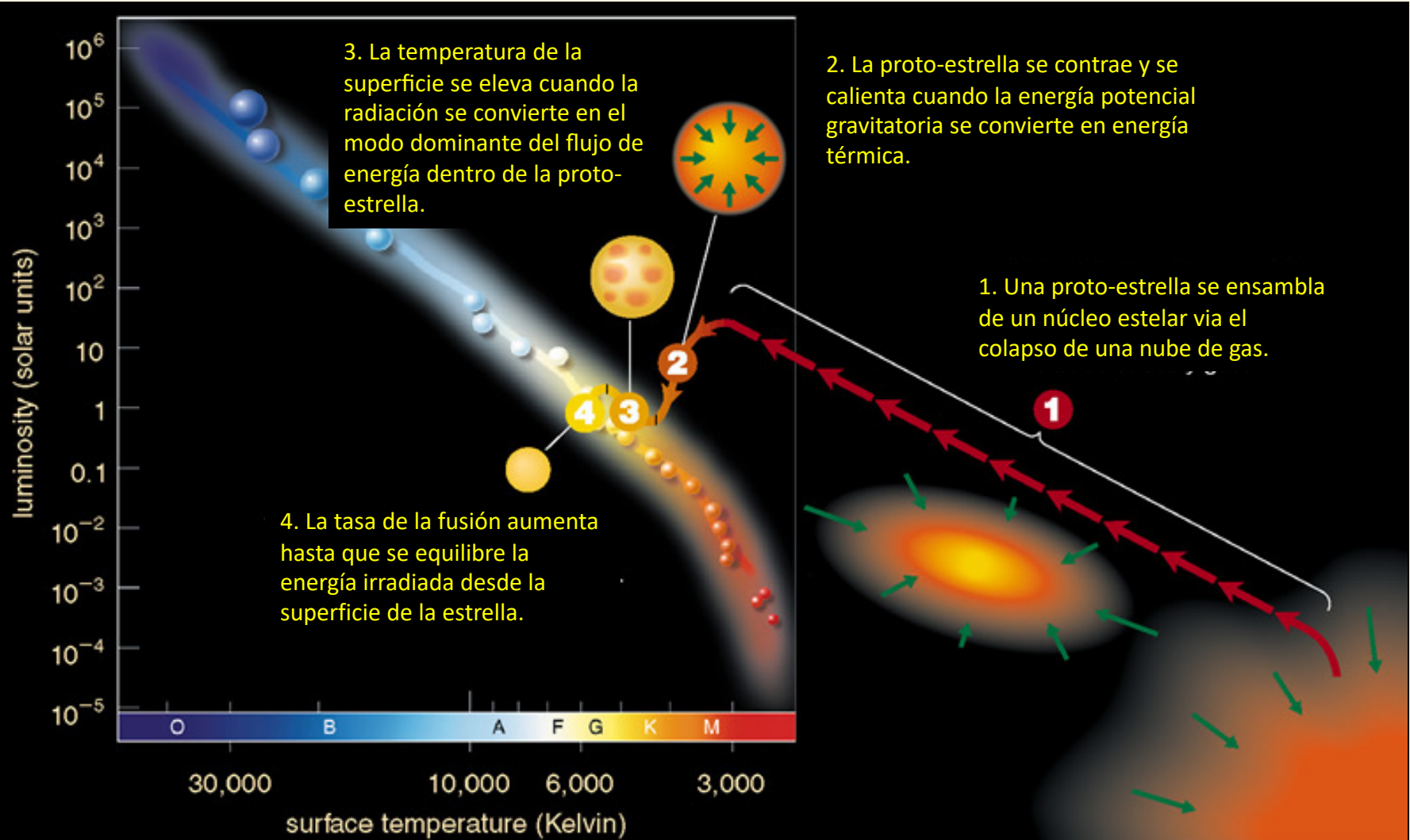
La proto-estrella debe librarse del momento angular, o se rompe.

Los campos magnéticos tiran del disco proto-estelar.

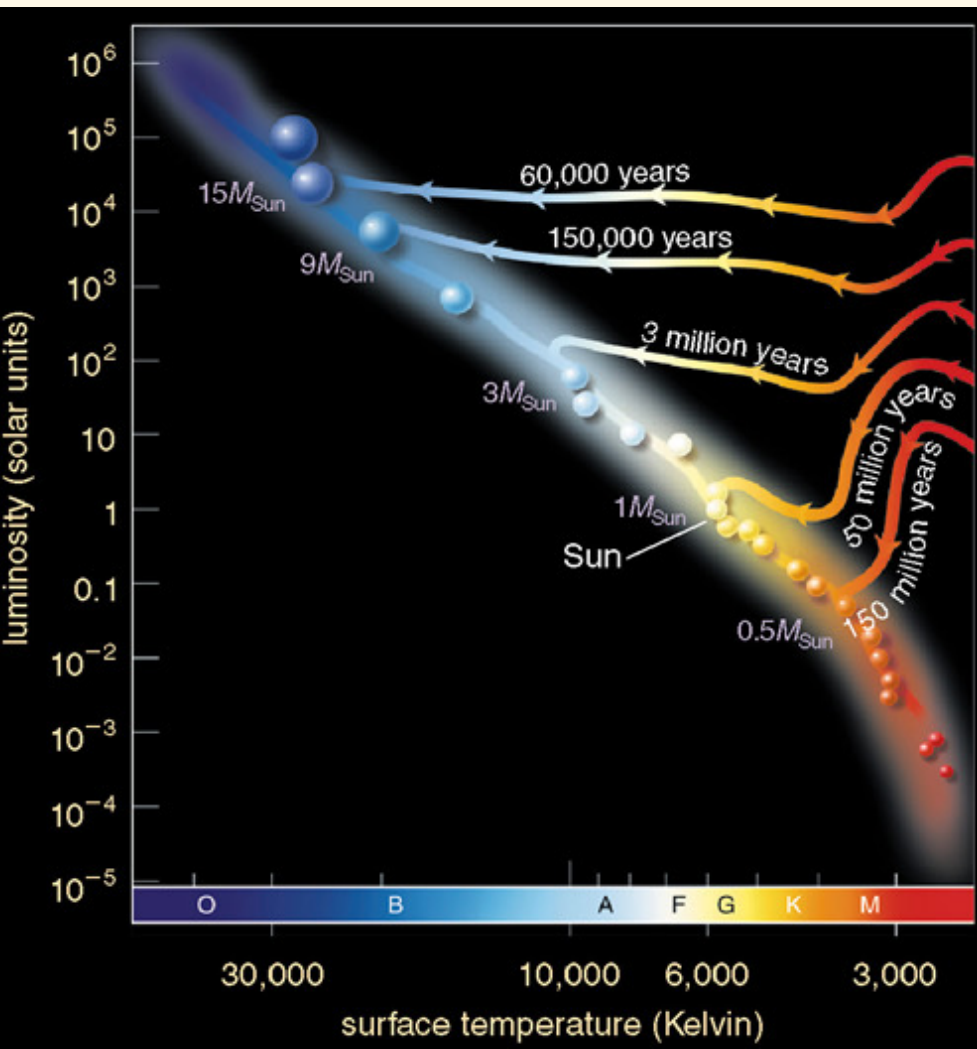
Podemos obtener fragmentación en binarios.

Las reacciones de fusión comienzan cuando el núcleo alcanza 10^7 K.

Etapas de la formación estelar en el Diagrama H-R



Llegada a la secuencia principal



La masa de la protoestrella determina:

- La duración de la fase de proto-estrella
- Donde la estrella se ubican en la MS, es decir, qué tipo espectral la estrella tendrá en la secuencia principal

¡Las estrellas se forman en cúmulos de estrellas!

- Sabemos que las estrellas no se forman de manera aislada o distribuida de manera uniforme.
- Se forman en cúmulos, asociaciones y grupos.



Falta la Secuencia Principal

Si las protoestrellas tienen una masa

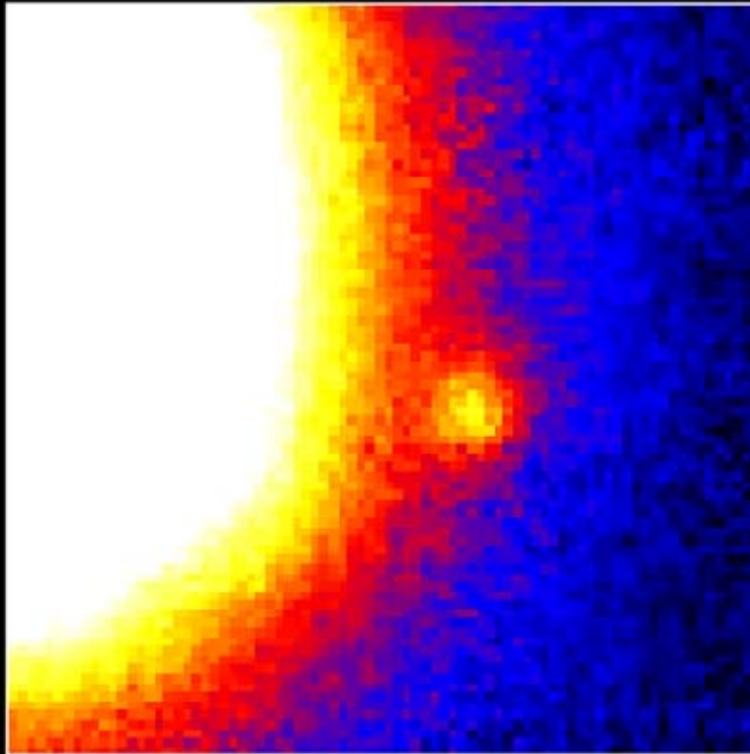
$$<0.08 M_{\text{Sol}} \text{ o } 80 M_{\text{Jupiter}}:$$

Llamamos a estos objetos **enanas marrones**.

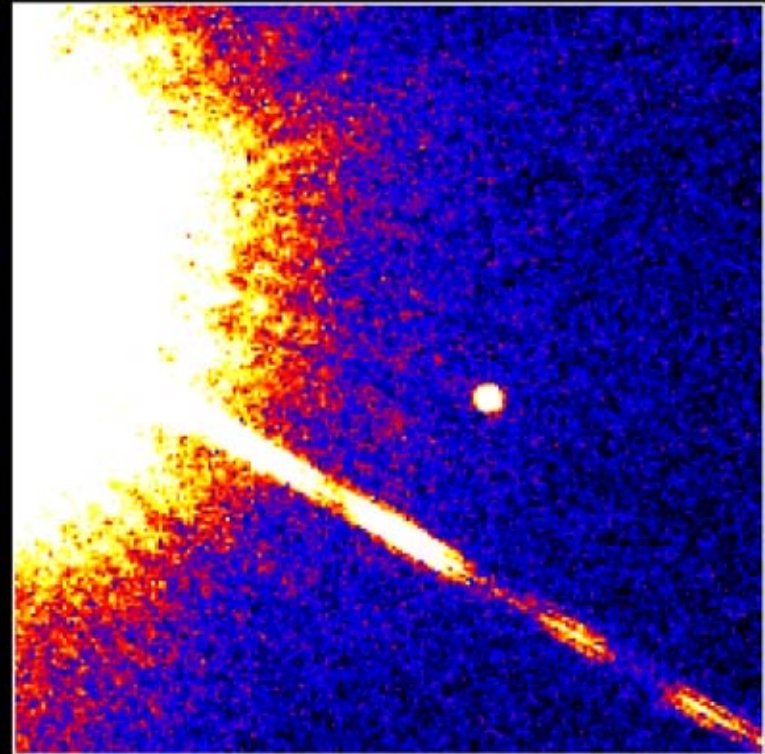
- No contienen suficiente energía gravitacional para alcanzar una temperatura interna de 10^7 K
- No se producen reacciones de fusión (excepción: deuterio y litio durante poco tiempo)
- Son muy débiles, emiten en infrarrojo, y han hecho núcleos de hidrógeno degenerado
 - Son convectivas en todas profundidades
- Limite bajo: $13 M_{\text{jupiter}}$.
- Tipos espectrales: L, T, Y

El primer descubrimiento de una **enana marrón**

Brown Dwarf Gliese 229B



Palomar Observatory
Discovery Image
October 27, 1994



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2
November 17, 1995

PRC95-48 · ST Scl OPO · November 29, 1995

T. Nakajima and S. Kulkarni (CalTech), S. Durrance and D. Golimowski (JHU), NASA

