

---

# **OBJETOS ESTELARES JÓVENES Y SUS ESTRUCTURAS CIRCUMESTELARES**

**Diego José González Hernández**

E-mail: [dgonzalezhernandez@ucsb.edu](mailto:dgonzalezhernandez@ucsb.edu)

Twitter: [@DiegoGonH](https://twitter.com/@DiegoGonH)

Website: <https://diego-gonher.github.io/website/>

---

---

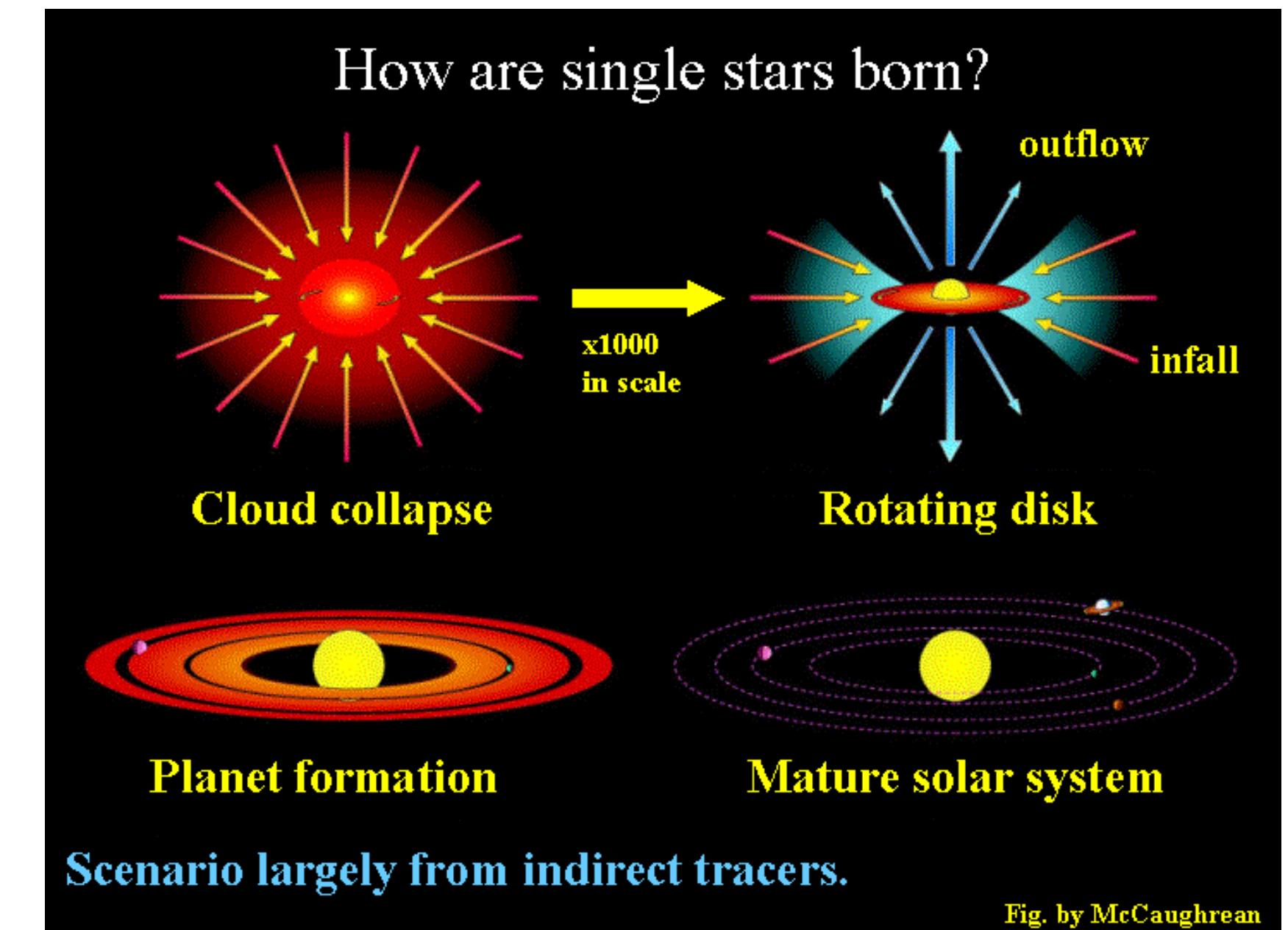
# TEMAS

- **Objetos Estelares Jóvenes: formación estelar, evolución temprana, distintas clasificaciones.**
- **Estructuras circumestelares: discos protoplanetarios, evolución, otras estructuras, cómo se modelan.**
- **No duden en hacer preguntas.**



# FORMACIÓN ESTELAR

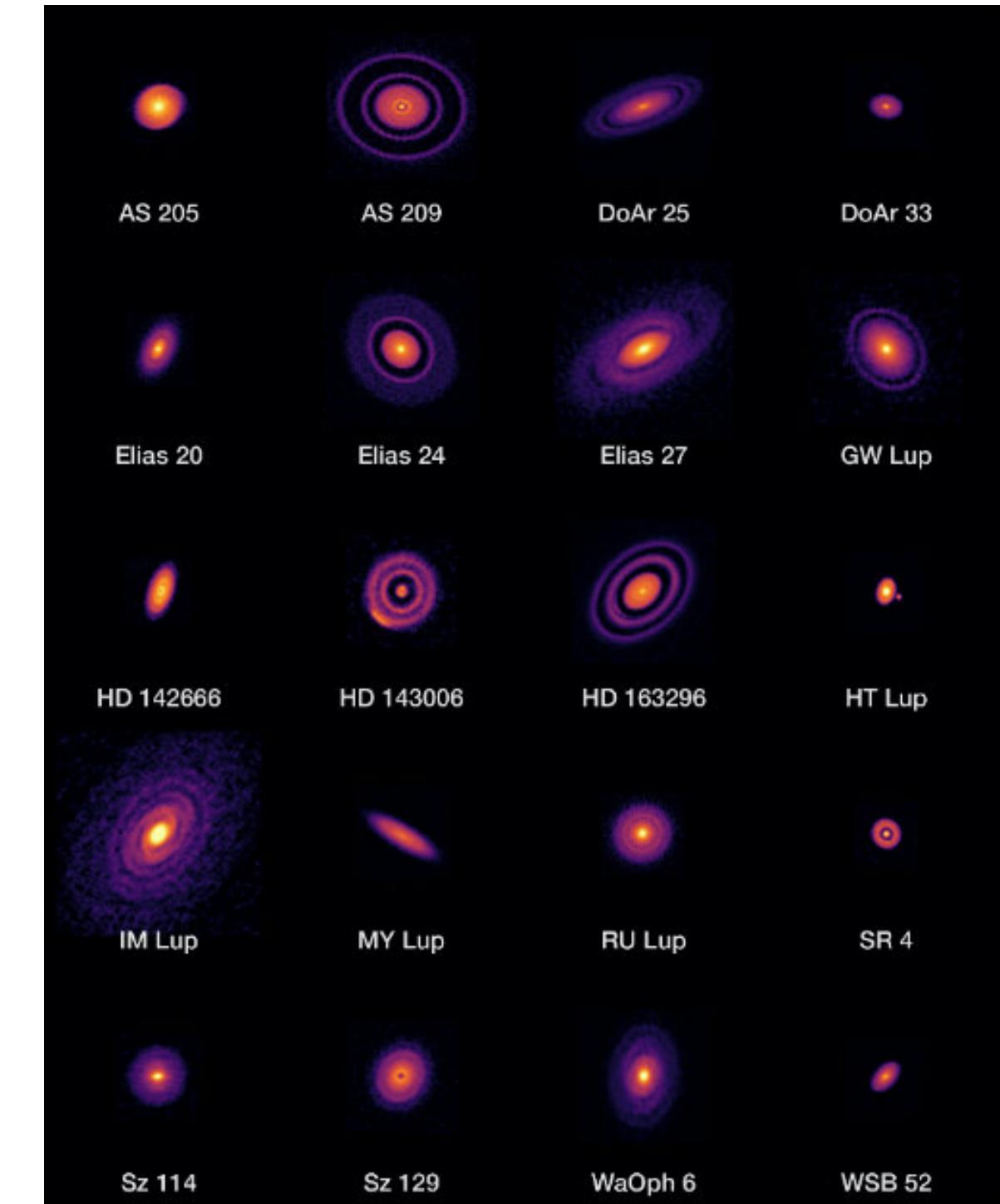
- A partir de nubes de polvo interestelar.
- Turbulencia causa sobre-densidades, que colapsan gravitacionalmente.
- La mayoría de materia se convierte parte de la estrella, pero una parte considerable del polvo crea un entorno circumestelar.



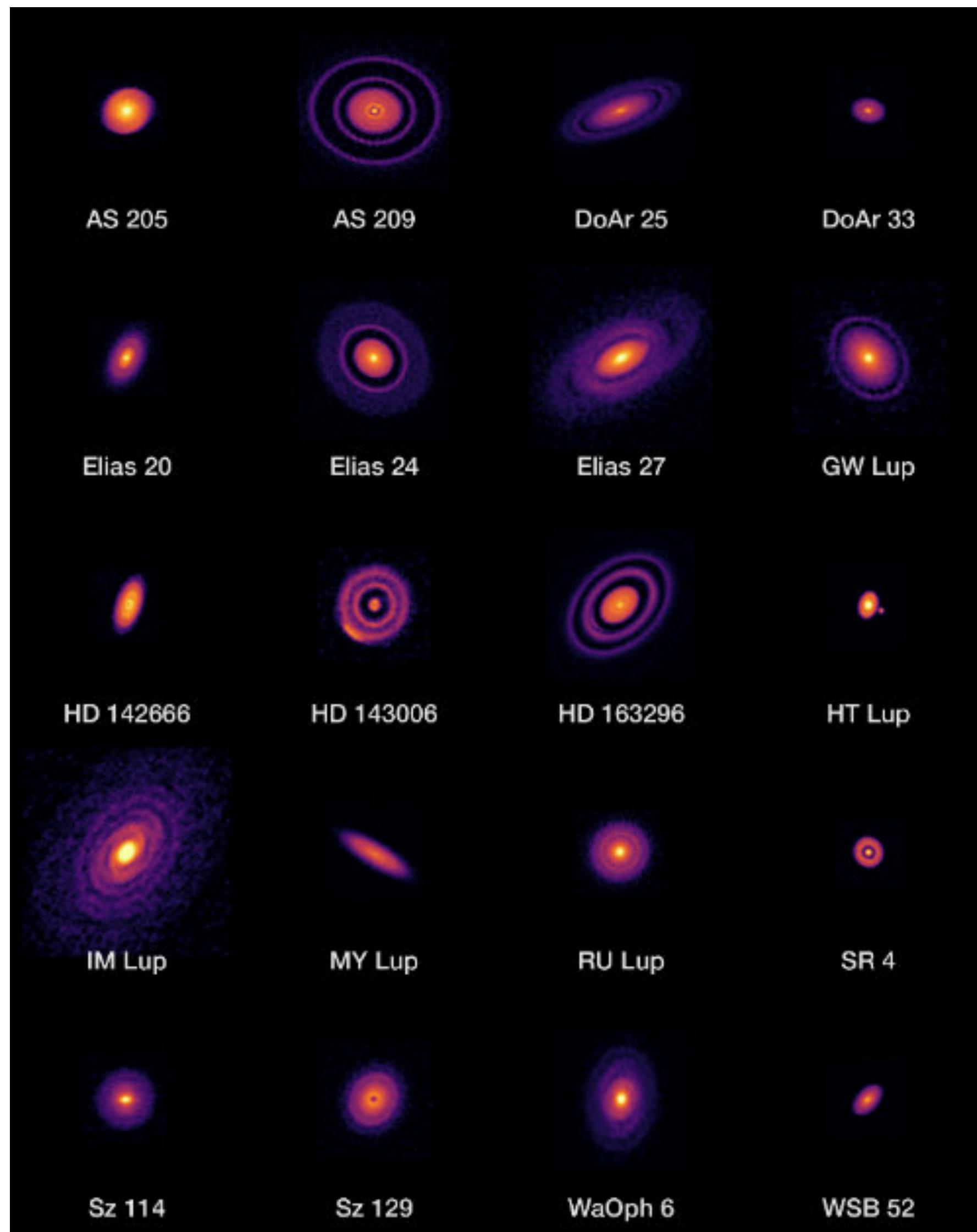
Formación estelar

# DISCOS Y OTRAS ESTRUCTURAS

- Una gran parte del polvo restante se convierte en un disco, inicialmente de acreción, el cual se disipa y se convierte en un disco protoplanetario pasivo.
- Sin embargo, otras estructuras se pueden formar (como halos y “paredes”).



Distintos discos protoplanetarios



# DISTINTAS GEOMETRIAS Y ESTRUCTURAS

# OBJETOS ESTELARES JÓVENES

- **Protoestrellas y estrellas jóvenes que, dada su poca edad, poseen estructuras de polvo circumestelares detectables.**
- **Clasificaciones por edad: Clase O a Clase III**
- **Clasificación por tipo espectral: T-Tauri o Herbig Ae/Be.**



T-Tauri

# OBSERVANDO OBJETOS ESTELARES JÓVENES

- **Muy recientemente, se han empezado a tomar fotografías directas de estos objetos, pero es aún muy complicado.**
- **Por lo tanto, la mayoría de estudios se han hecho estudiando las distribuciones de energía espectral.**

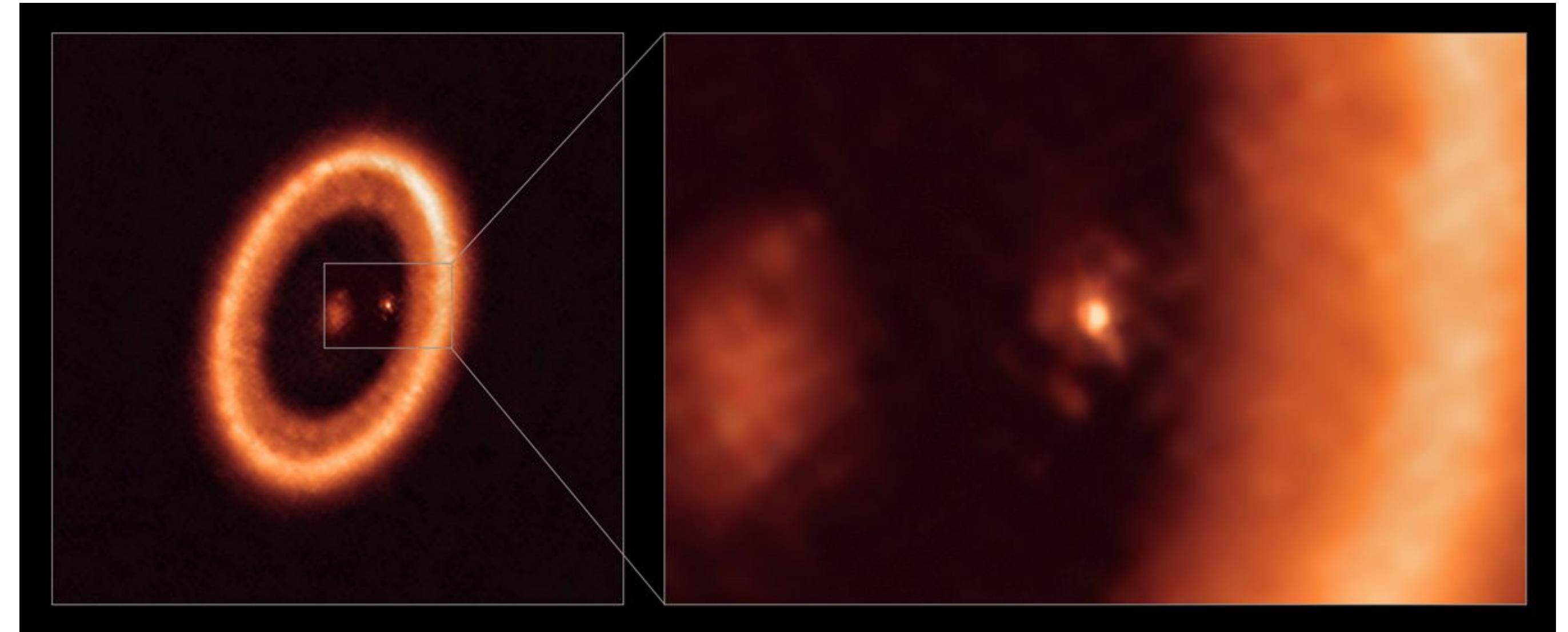
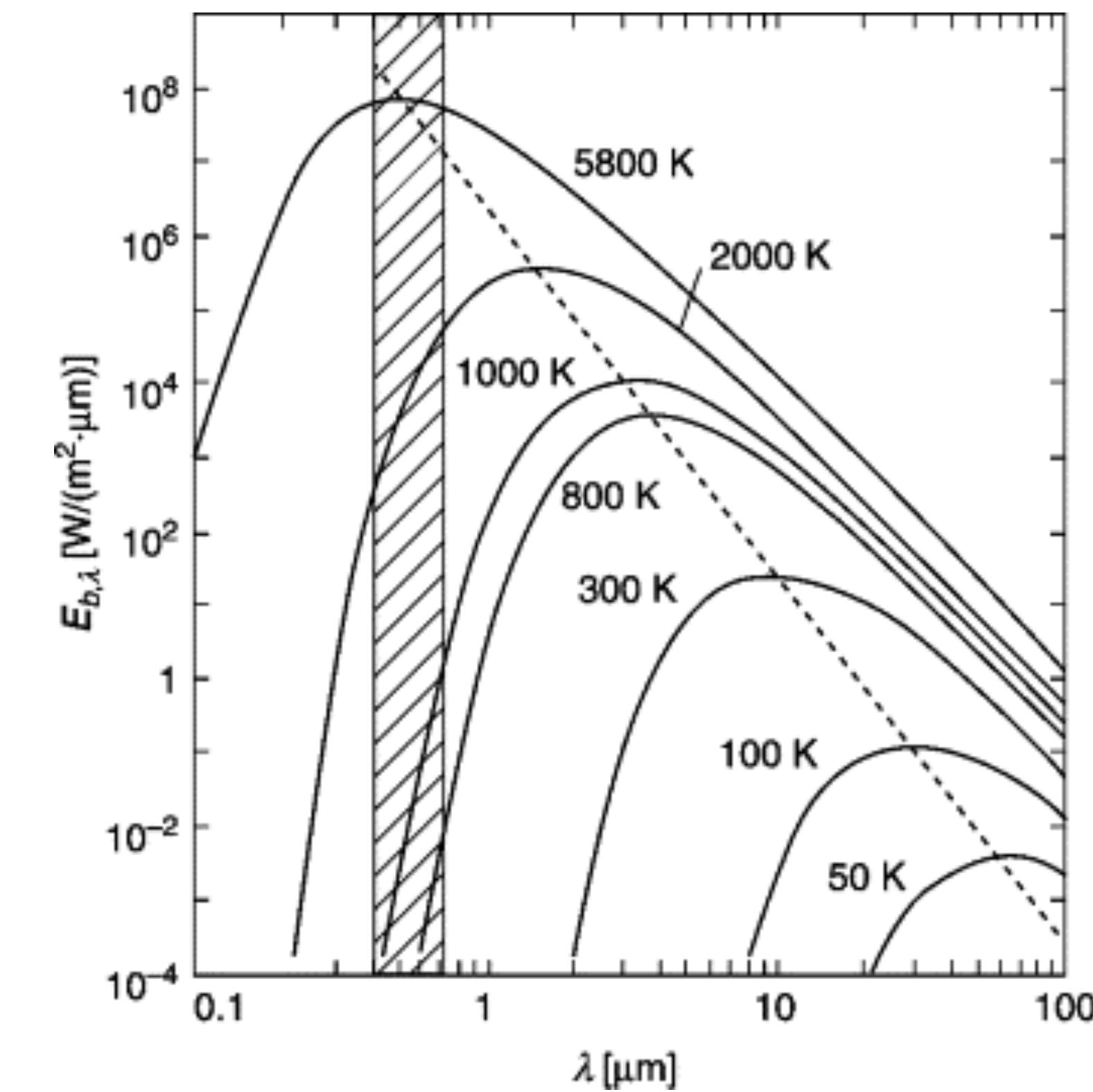


Imagen directa de un posible protoplaneta.

# DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ESPECTRAL

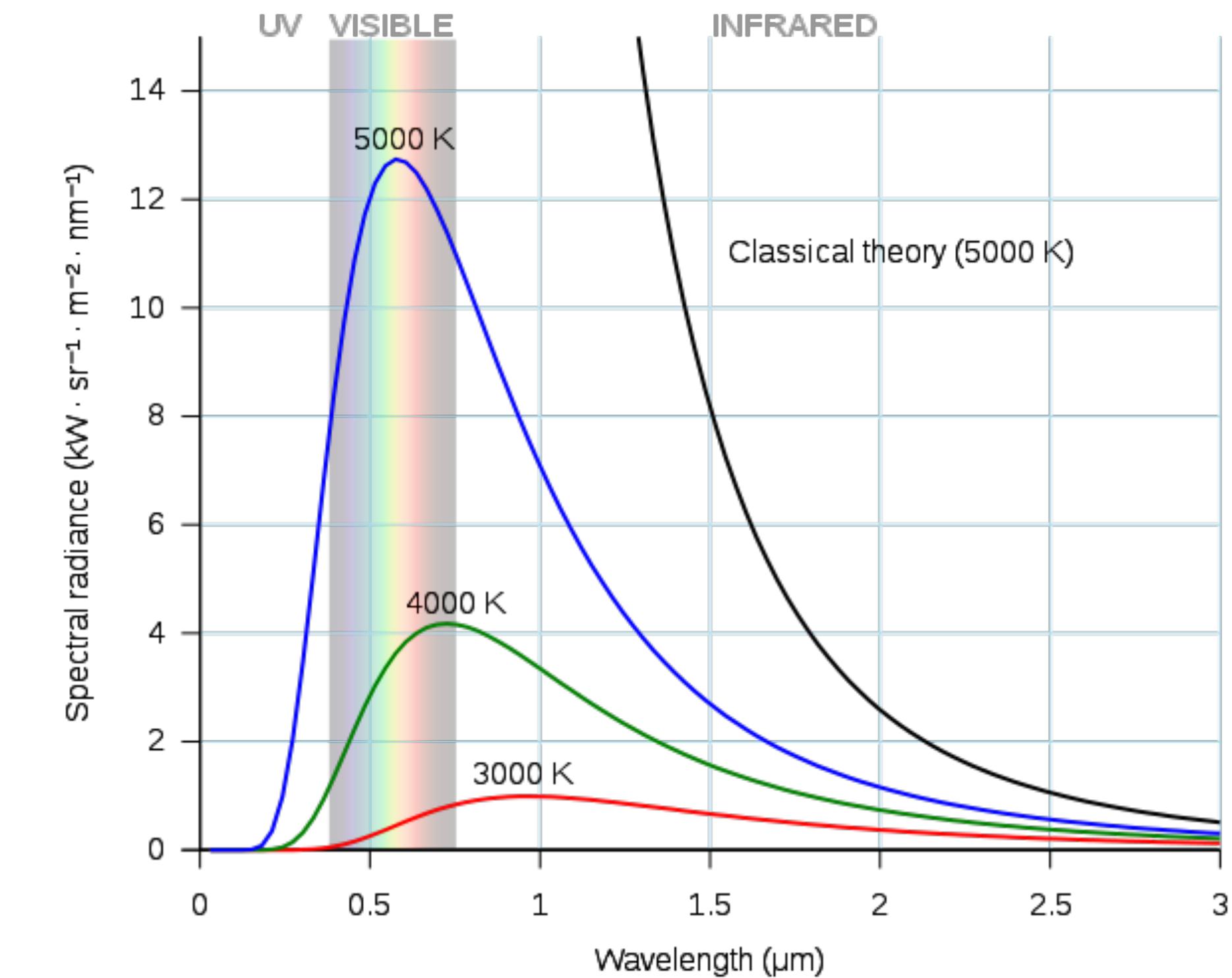
- Energía observada en función de la longitud de onda (o frecuencia) de la luz.
- Similar a los espectros electromagnéticos, que muestran el flujo observado en función de la longitud de onda (o frecuencia) de la luz.



Distribución de energía espectral

# DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ESPECTRAL

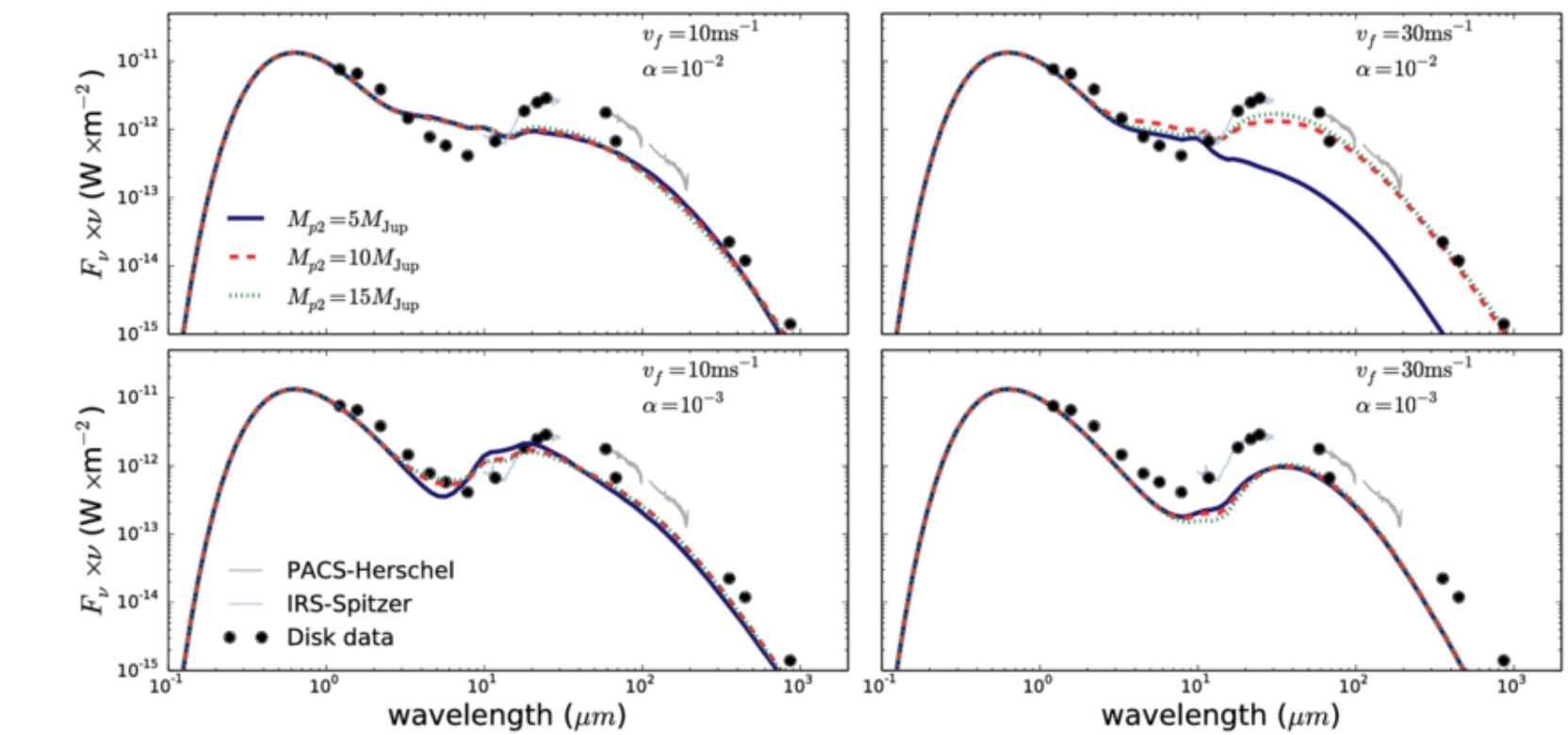
- Los objetos estelares jóvenes presentan bultos (excesos en el infrarrojo cercano), que son desviaciones de la distribución causada por la estrella por sí sola.
- Se conoce la distribución exacta de una estrella (radiación de un cuerpo negro).



Distribución de energía espectral de cuerpos negros

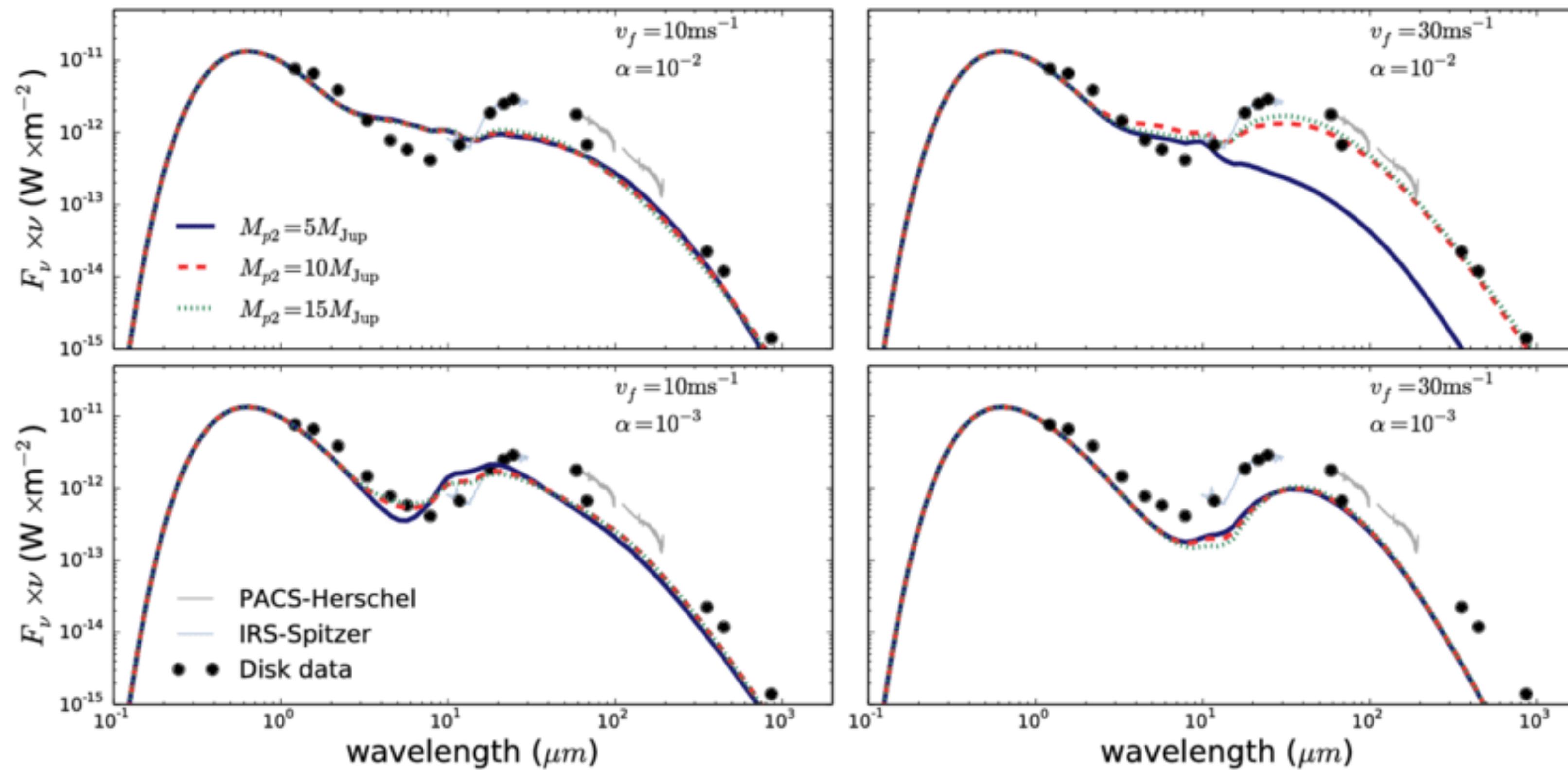
# CAUSAS DE LOS EXCESOS

- **Interacciones entre la luz de la estrella y el polvo que la rodea.**
- **Reflexion: la luz “rebota”.**
- **Absorción: la luz es absorbida por el polvo, el cual consume parte de esta energía extra, y luego re-emite el fotón con menos energía (i.e. longitud de onda mas larga).**



Distribución de energíapectral de  
objetos estelares jóvenes

# CAUSAS DE LOS EXCESOS



# MODELOS PARA LOS DISCOS

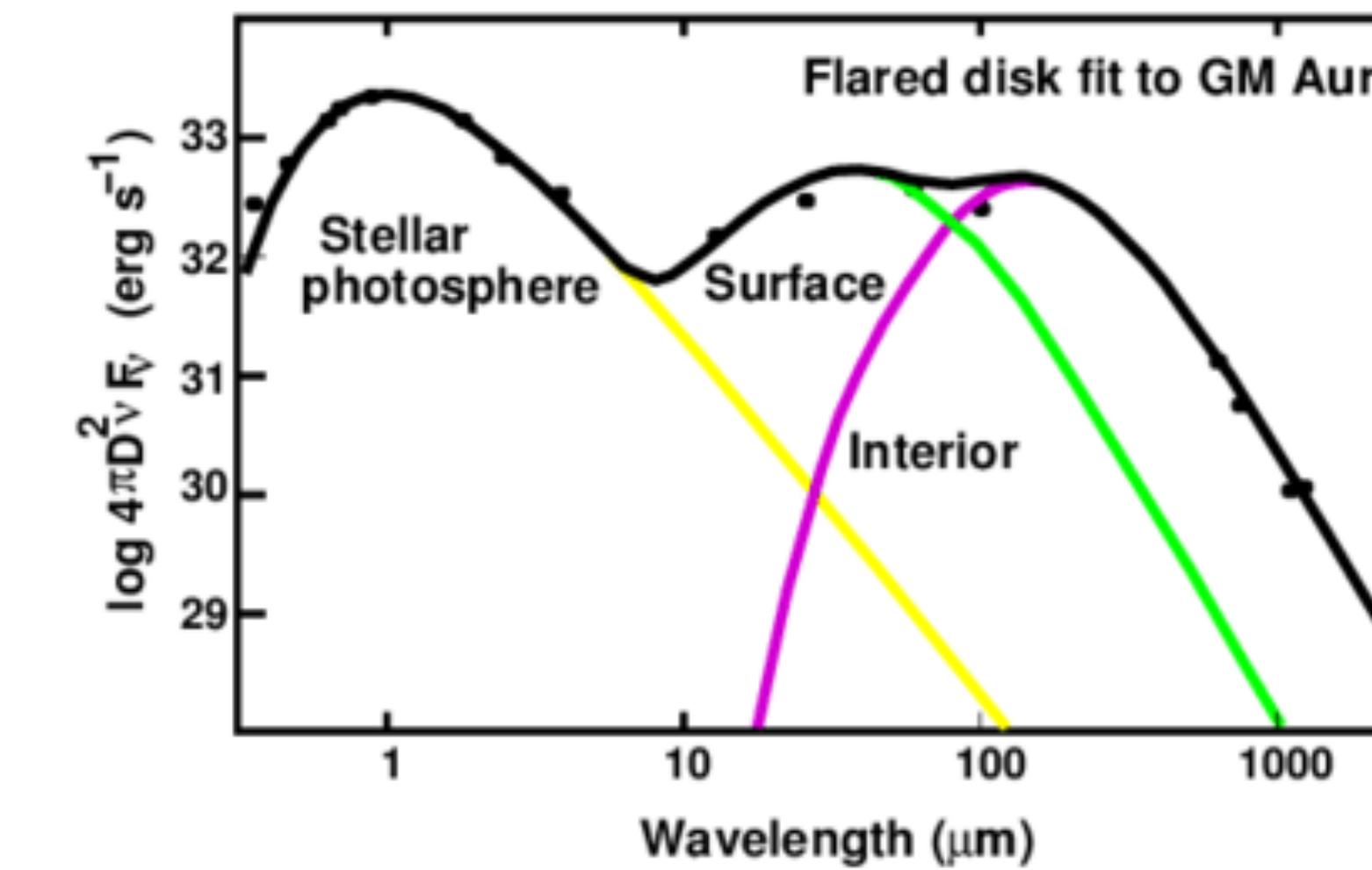
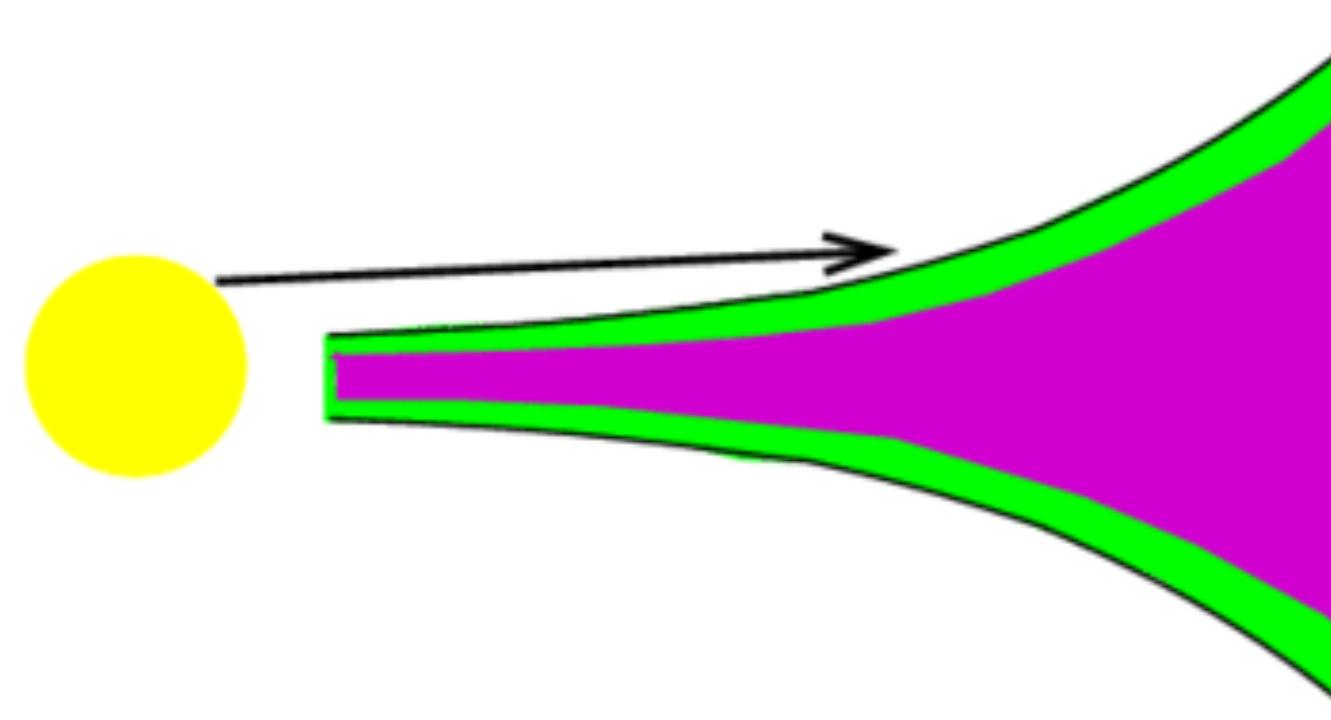
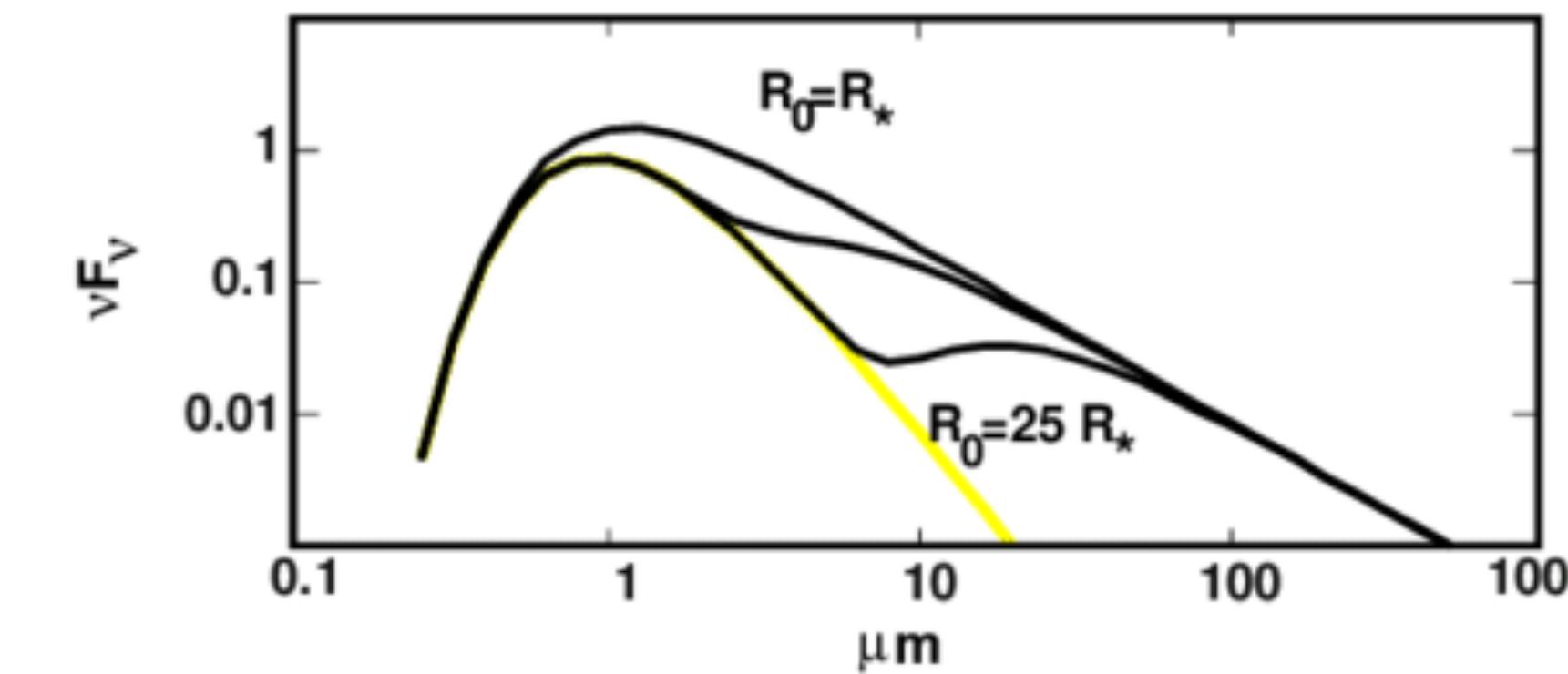
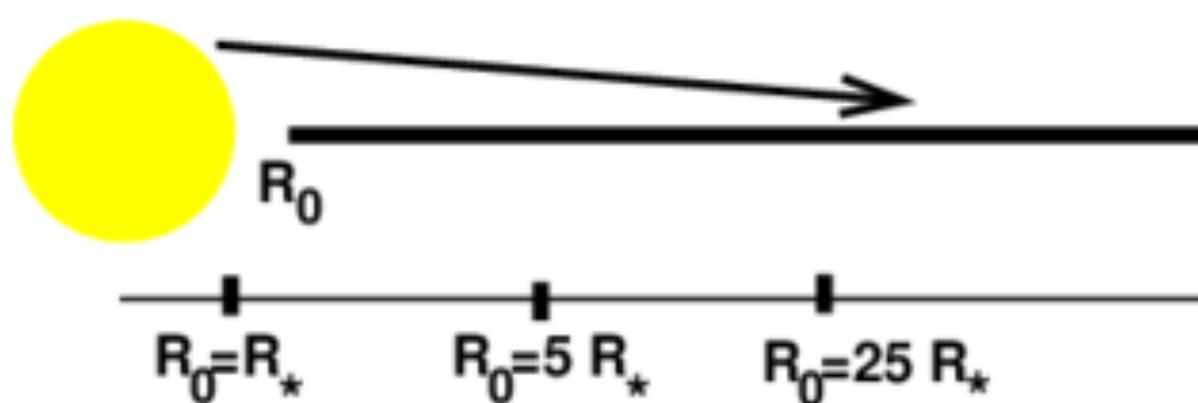
- **Naturalmente, la mayoría de modelos iniciales se centraban en el disco protoplanetario,**
- **El más exitoso y útil de estos modelos es el “disco alfa”:**
  - **El disco se divide en anillos, y se suman de las contribuciones individuales de los anillos.**
  - **Se asume que cada anillo irradia como un cuerpo negro, por lo que solo se necesita saber su temperatura para conocer su distribución de energía espectral.**
  - **Distintos valores de alfa producen distintas geometrías.**

$$T_{disk}(R) = T_{sub} R_{sub}^{\alpha} R^{-\alpha}$$

Temperatura de cada anillo

$$F_{\lambda} = \sum_{i=1}^n A_i f_{\lambda,i}$$

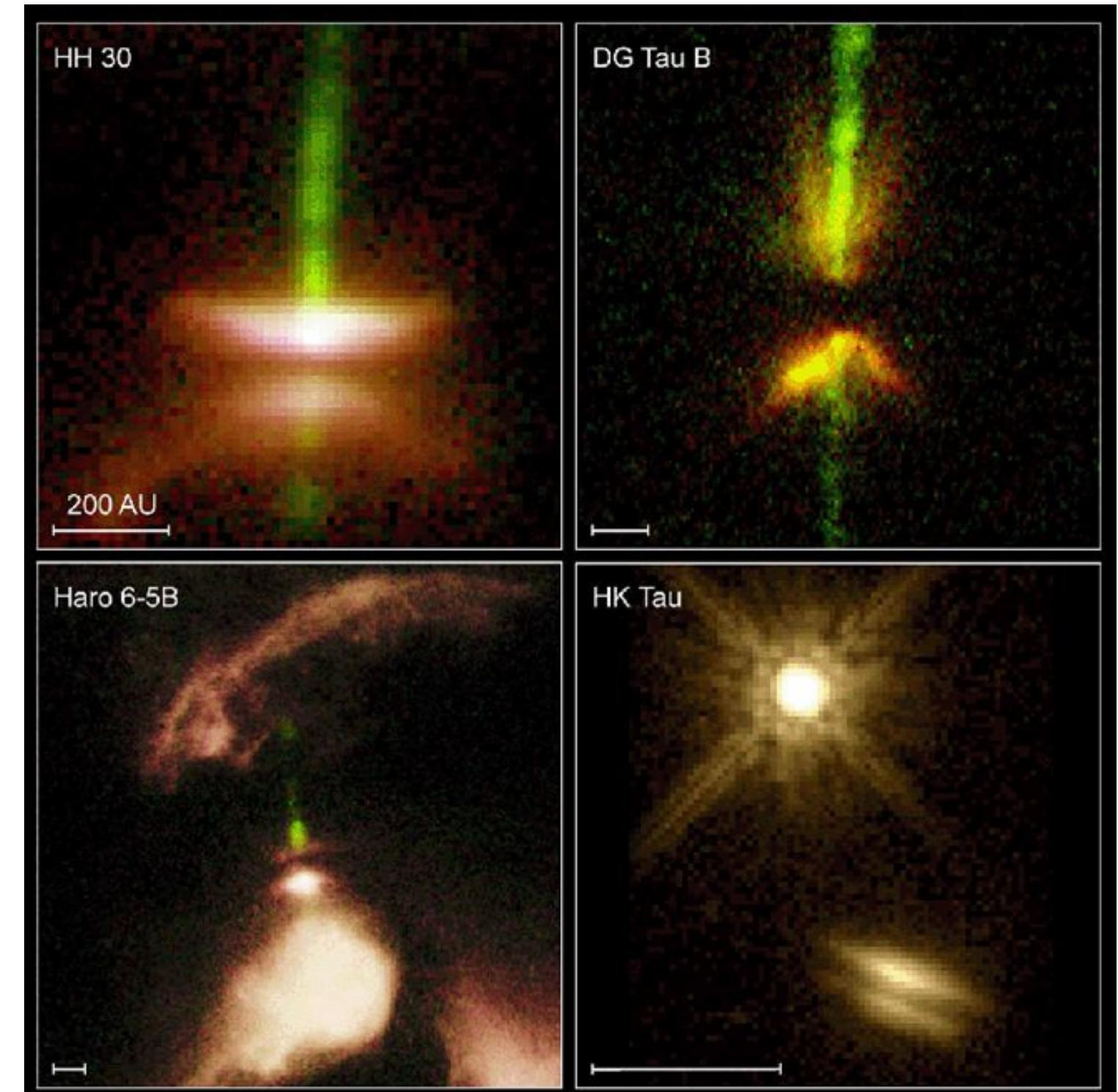
Distribución de energía espectral del disco



## DISCOS PLANOS Y DISTINTOS DISCOS ACAMPANADOS

# MÁS QUE SOLO DISCOS

- A pesar del gran éxito de los discos alfa, es evidente que en muchos casos se necesitan más componentes además del disco protoplanetario.
- Un pequeño exceso alrededor de los tres micrómetros podía ser explicado por una “pared” cilíndrica o en forma de cono cerca de la estrella.
- Algunas imágenes directas mostraban un patrón de mariposa.
- Flujos de polvo como posible modelo, pero falta una explicación de los flujos.



Entornos circumestelares más complejos

# FLUJOS SOPORTADOS MAGNÉTICAMENTE

- **Inspirado por flujos vistos en agujeros negros activos, la mejor explicación sugiere que el campo magnético de la estrella provoca un torque en el polvo ionizado del disco, causando que este se mueva radialmente.**
- **En consecuencia, el campo magnético del sistema se dobla ligeramente hacia afuera.**
- **Flujos de gas siguen las líneas del nuevo campo magnético, colisionando con parte del polvo en el disco y creando las “paredes”.**

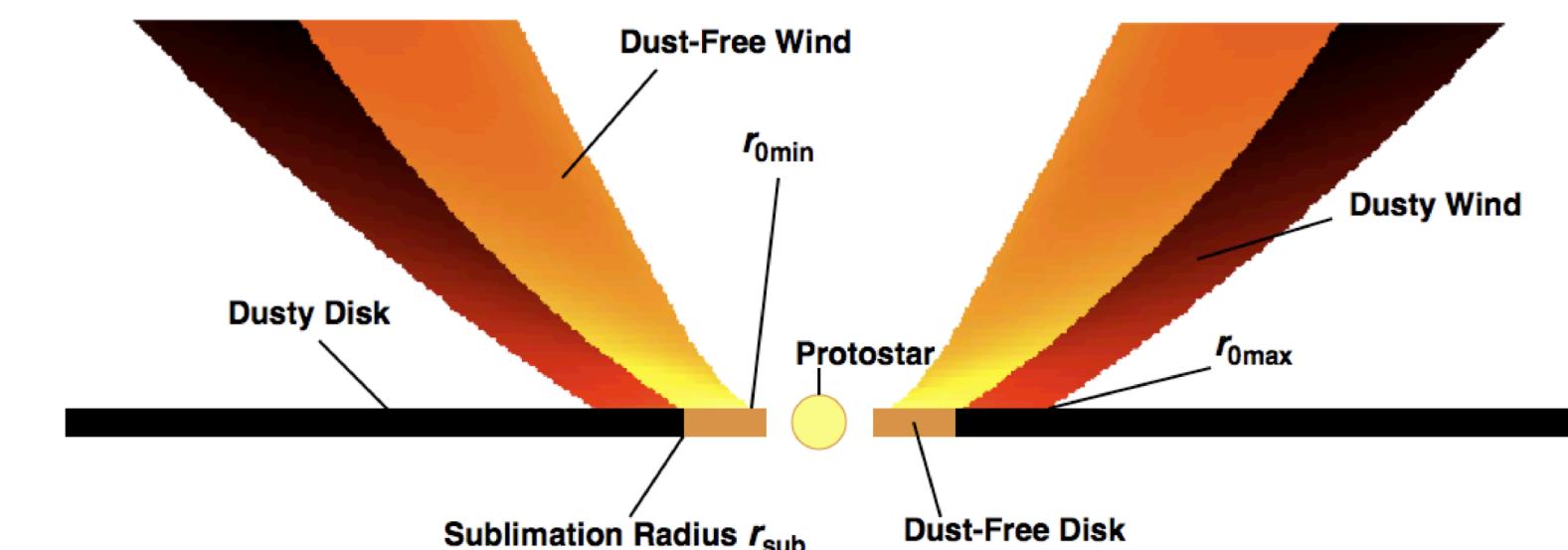
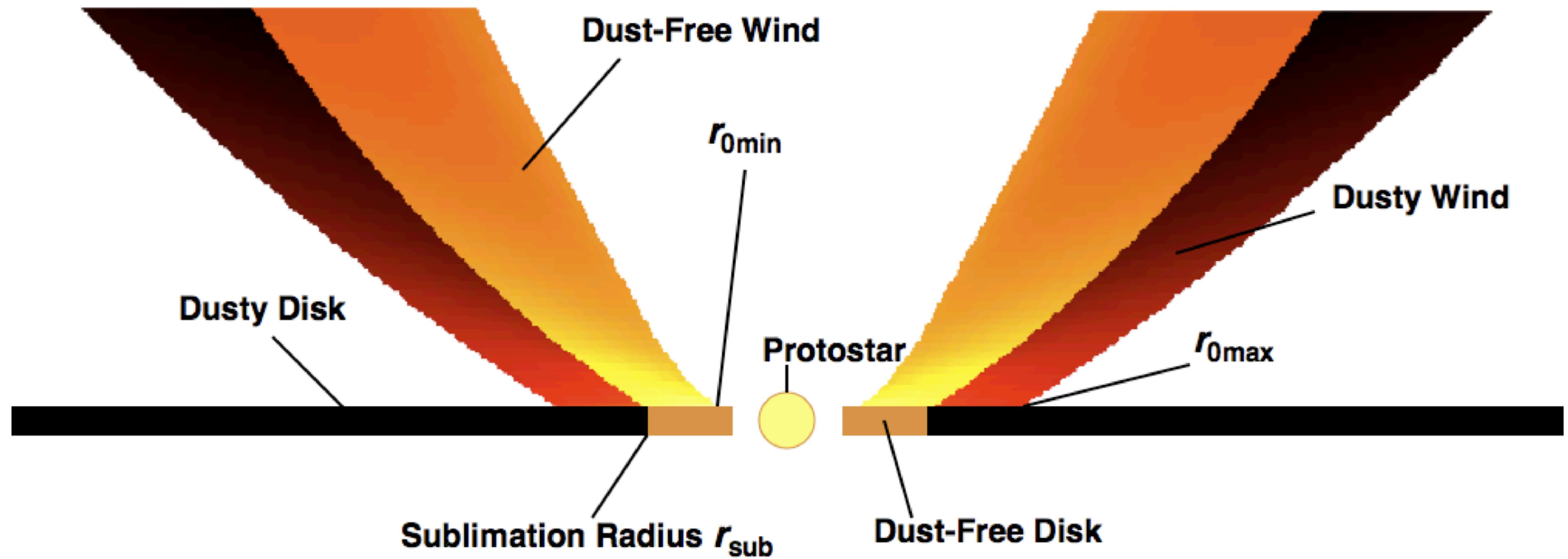


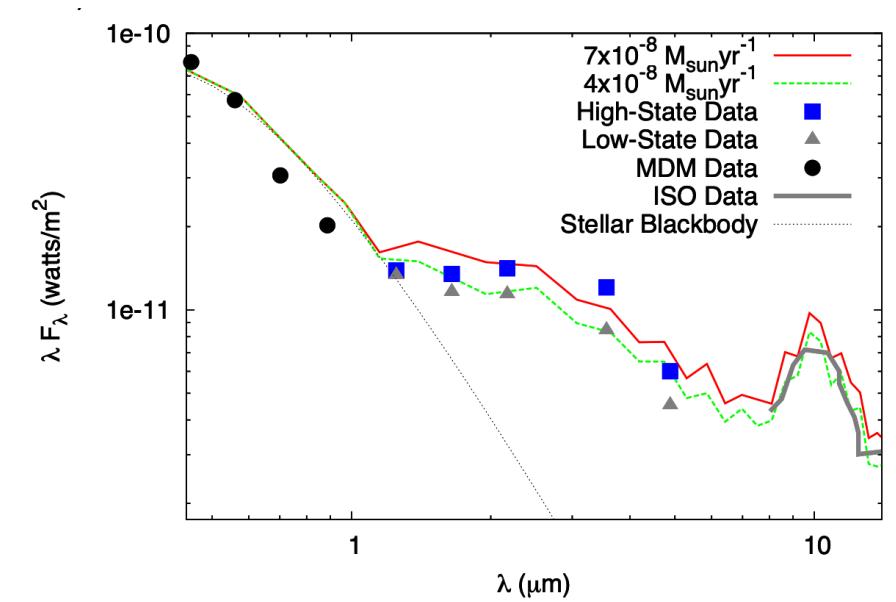
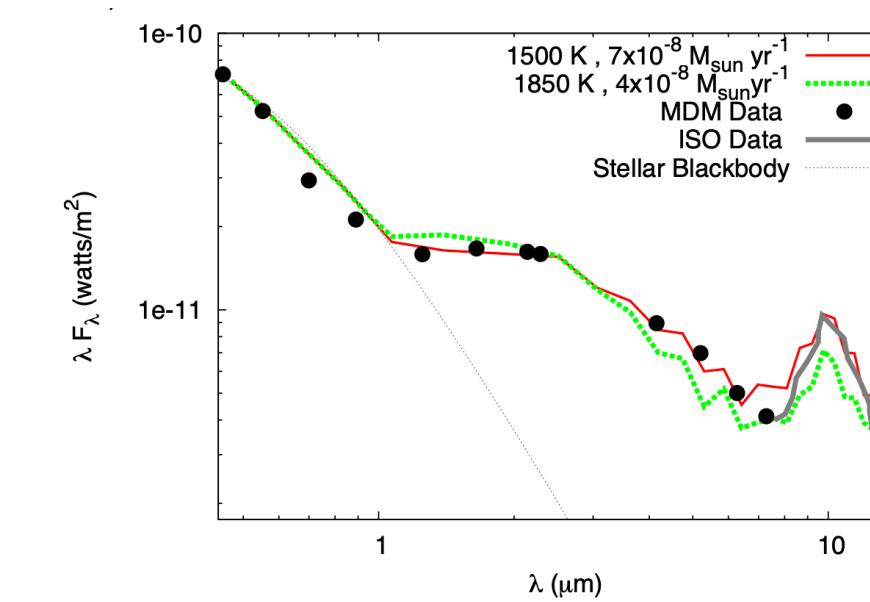
Diagrama de la creación de flujos soportados magnéticamente



# FLUJOS DE POLVO

# FLUJOS SOPORTADOS MAGNÉTICAMENTE

- Combinando soluciones numéricas del campo magnético junto a simulaciones de transferencia de radiación, se demostró que este modelo era capaz de reproducir las distribuciones de energía espectral de estrellas de menor masa (T-Tauri).
- Demostró que los flujos podían ser explicados de manera robusta, y podían ayudar a reproducir los excesos alrededor de los tres micrómetros, añadiendo complejidad al entorno alrededor de los objetos estelares jóvenes.



AB Auriga y MWC 275

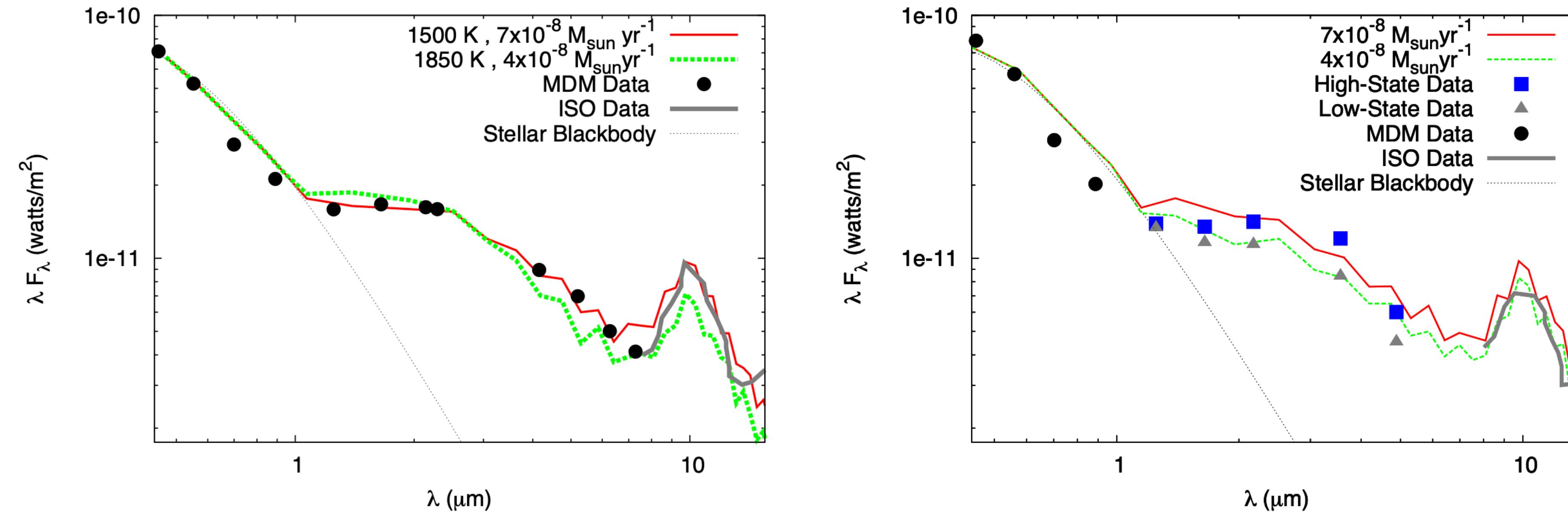
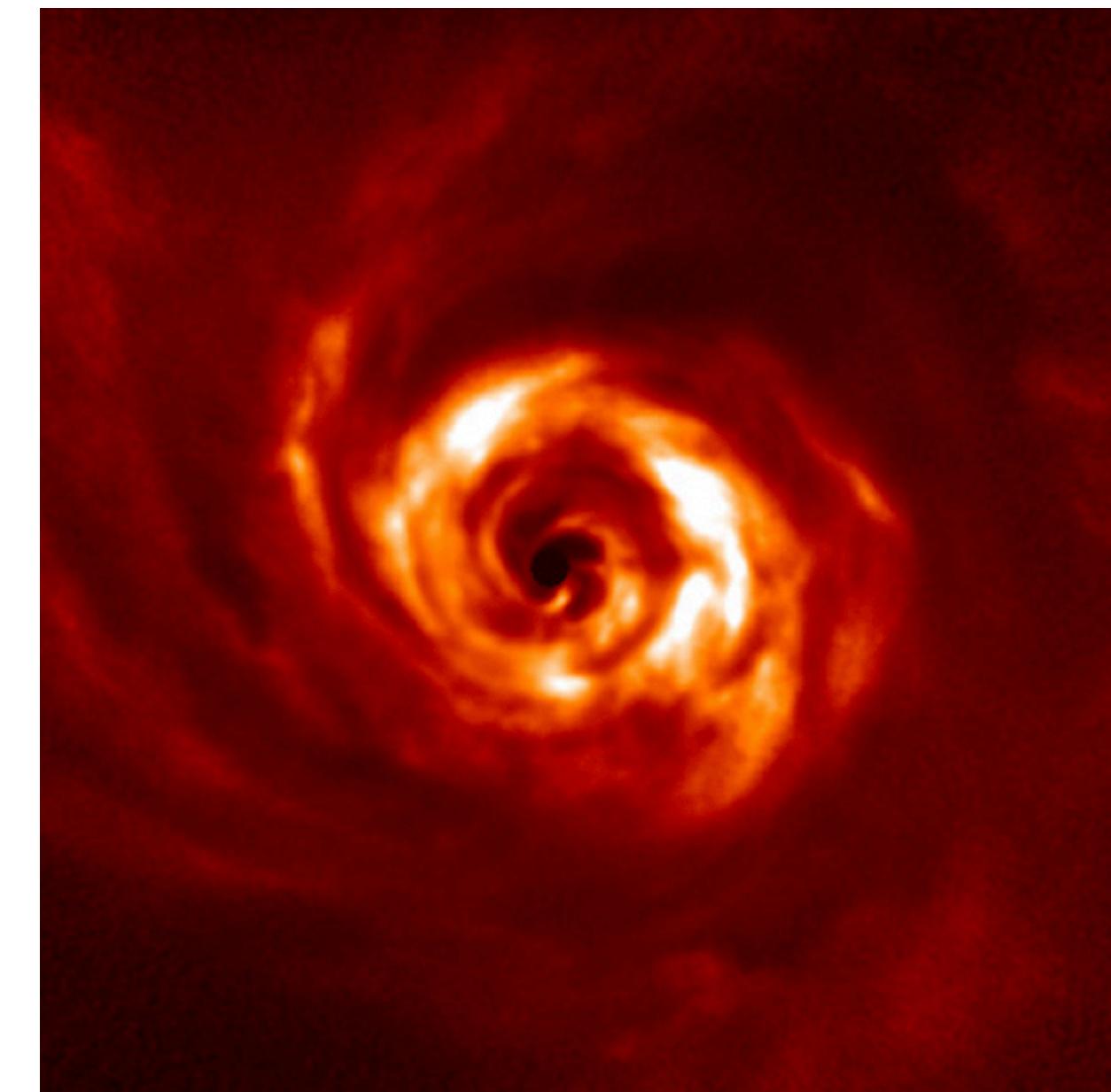


FIG. 3.— Best-fit curves to the SEDs of AB Auriga (a) and MWC 275 (b). In the case of AB Aur, the two curves demonstrate the possible parameter degeneracy that can be encountered by fitting the SED data alone. In the case of MWC 275, the two curves (which both correspond to  $T_{\text{sub}} = 1500 \text{ K}$ ) demonstrate how a change in the wind outflow rate could potentially account for the NIR variability exhibited by this source. The high-state (squares) and low-state (triangles) measurements for MWC 275 are from Sitko et al. (2008). The references for the data points from the MDM telescope and from *ISO* are given in the caption to Figure 2.

# ESTRELLAS DE MASA BAJA

# ESTRELLAS DE MASA INTERMEDIA

- **Estrellas Herbig Ae/Be (HAeBe) generalmente solo se han modelado con discos activos y ocasionalmente con discos pasivos.**
- **En su mayoría, estos modelos han sido motivados por una mayor dificultad en identificar cavidades en los discos alrededor de estas estrellas.**
- **Gradualmente se ha notado la necesidad de añadir más complejidad.**

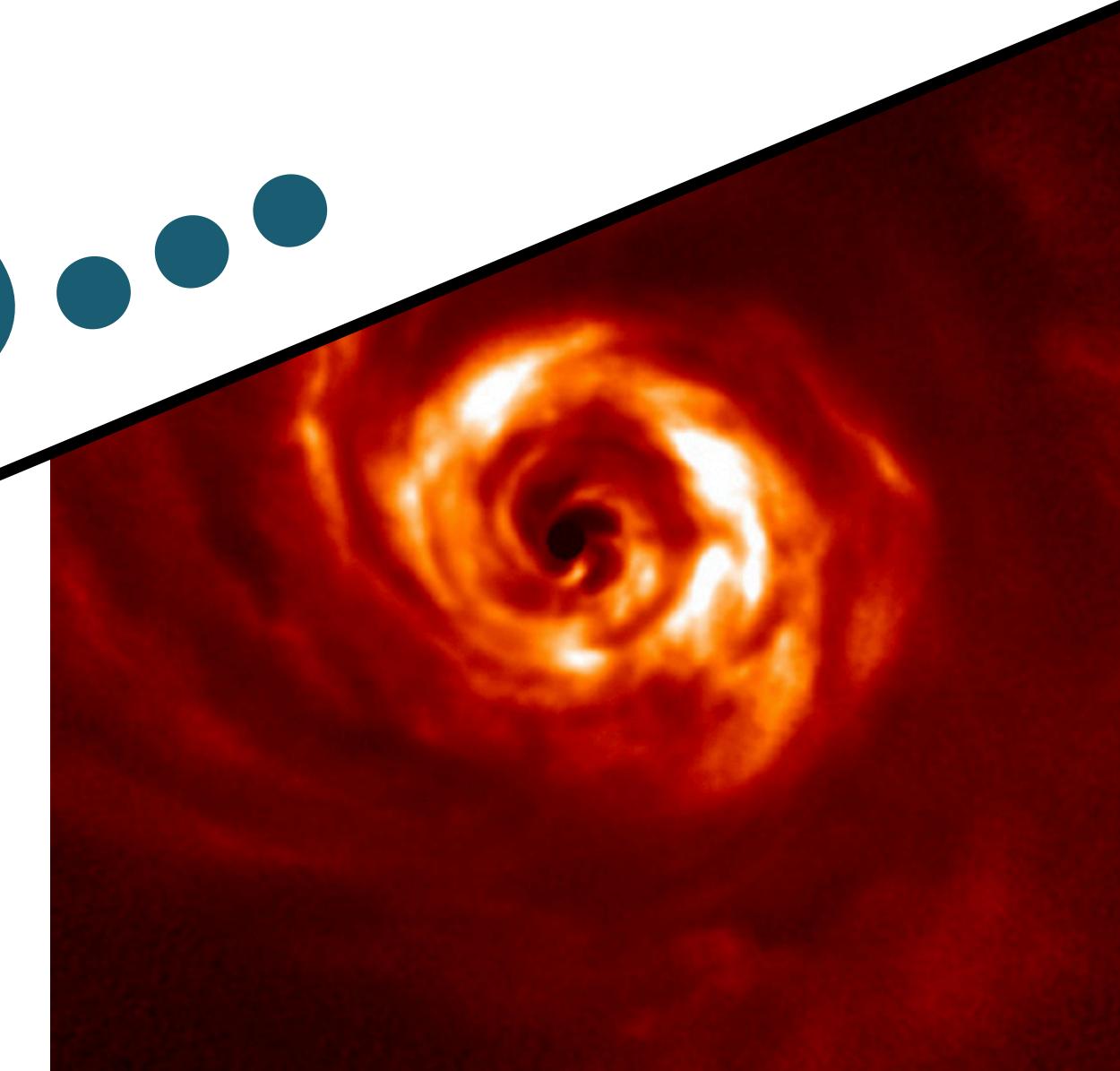


Disco protoplanetario alrededor de una Herbig Ae

# ESTRELLAS DE MASA INTERMEDIA

- Estrellas Herbig Ae/Be (HAeBe) generalmente solo se han modelado con discos activos y ocasionalmente con discos pasivos.
- En su mayoría, estos modelos han tenido por una mayor dificultad en los discos al tener la necesidad de añadir
- e

MITÉSIS...



Disco protoplanetario alrededor de una Herbig Ae

---

# **OBJETIVO DE MI TÉSIS**

**UTILIZAR EL MODELO DE LOS FLUJOS SOPORTADOS  
MAGNÉTICAMENTE PARA INTENTAR EXPLICAR  
ALGUNAS DE LAS DISCREPANCIAS OBSERVADAS EN  
ESTRELLAS DE MASA INTERMEDIA.**

---

# MWC 297

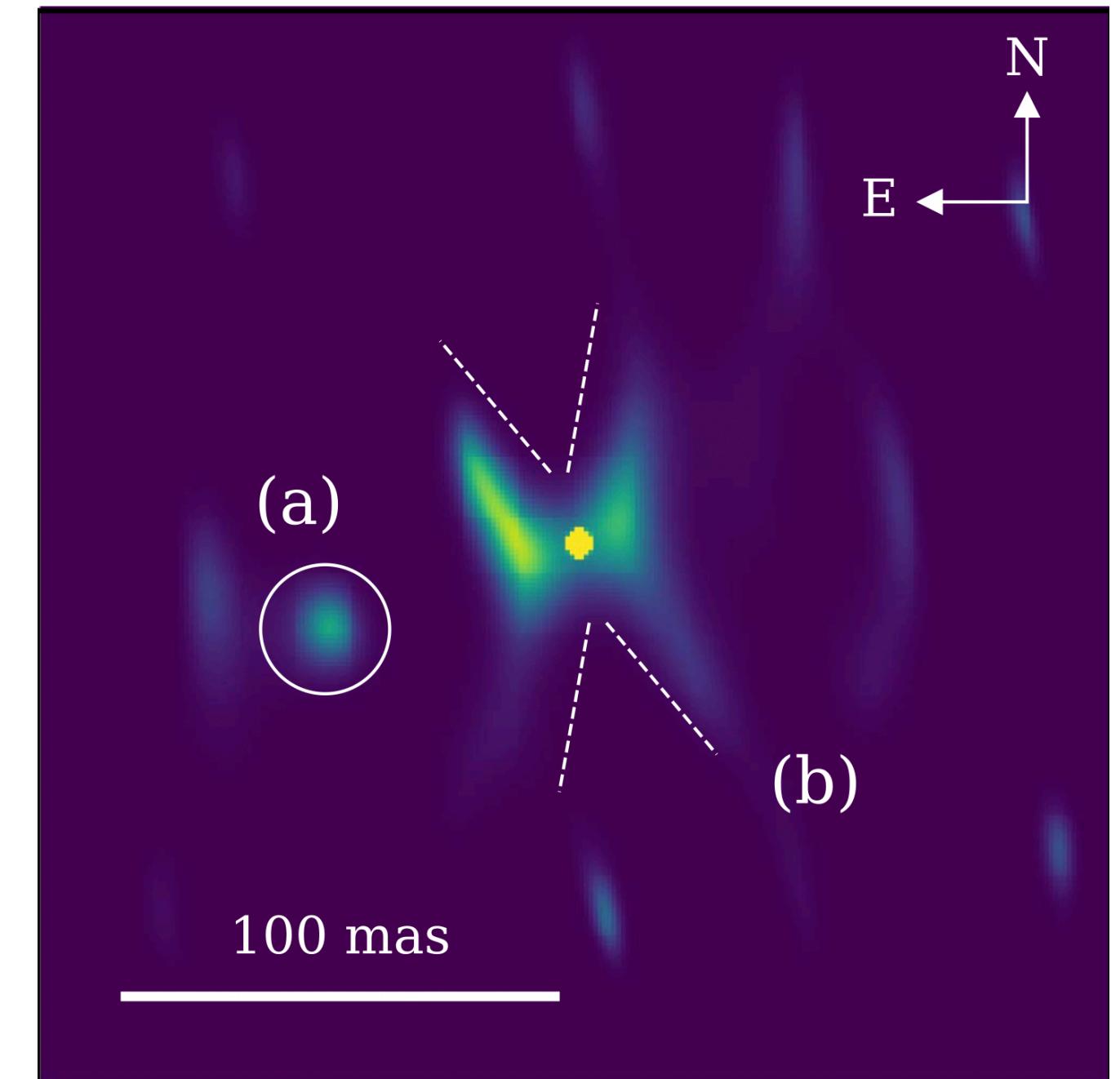
- **MWC 297 es una de las estrellas Herbig Be más cercanas.**
- **La caracterización de su entorno circumestelar ha sido difícil, conduciendo a una variedad de modelos distintos:**
  - **Disco de acreción pequeño (e.g. Drew et al. 1997)**
  - **Discos pasivos con flujos (e.g. Monnier et al. 2006)**

| Param.          | Units     | Value        |
|-----------------|-----------|--------------|
| distance        | pc        | $375 \pm 20$ |
| age             | Myr       | < 1          |
| $T_{eff}$       | K         | 23700        |
| $\log(L_{bol})$ | $L_\odot$ | 4.59         |
| $M_*$           | $M_\odot$ | 16.9         |
| $R_*$           | $R_\odot$ | 4.59         |

Parametros físicos de MWC 297

# MWC 297

- **Reconstrucción indirecta usando observaciones del Large Binocular Telescope muestran una estructura compleja.**
- **Patrón de mariposa.**
- **Considerar nuevos modelos para explicar las estructuras alrededor de MWC 297.**



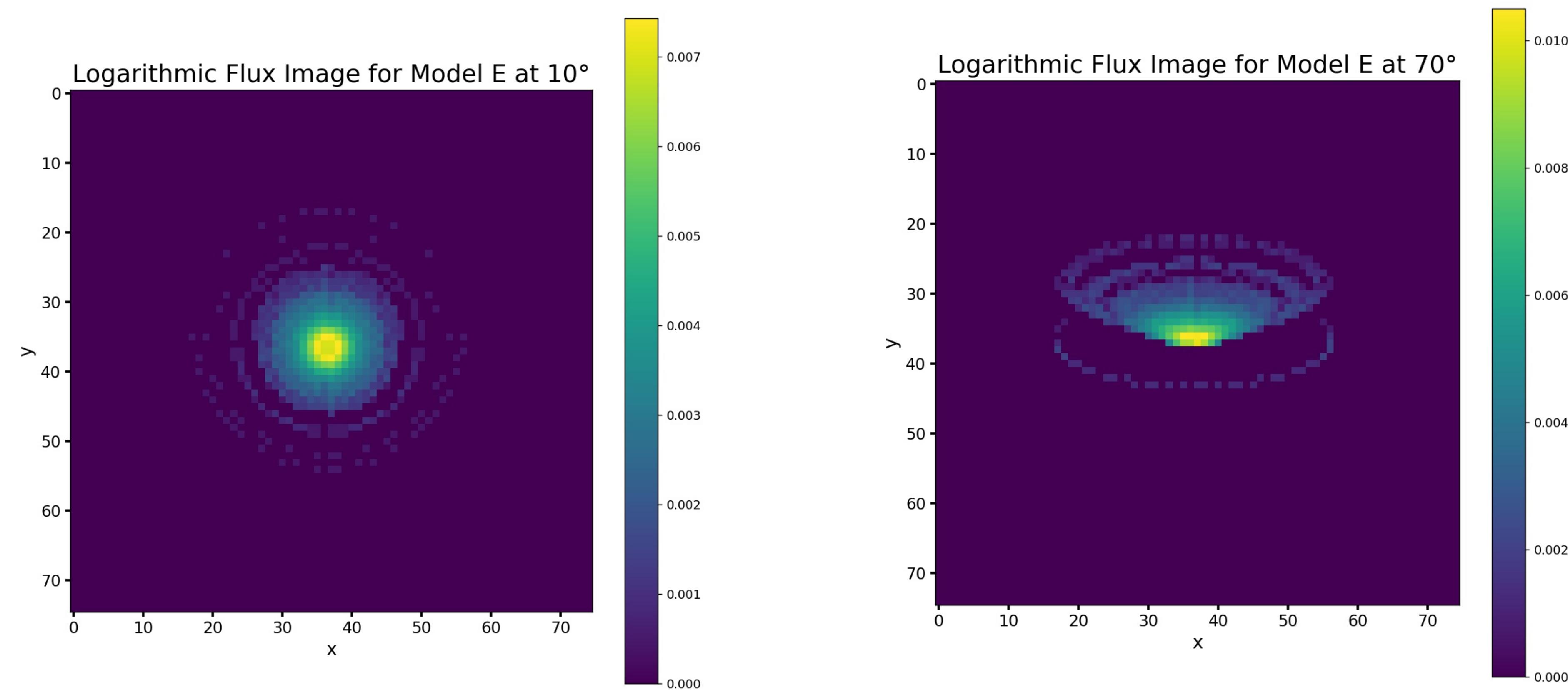
Reconstructed image at  $(3.7\mu\text{m})$  of MWC 297  
(Sallum et al. 2021)

---

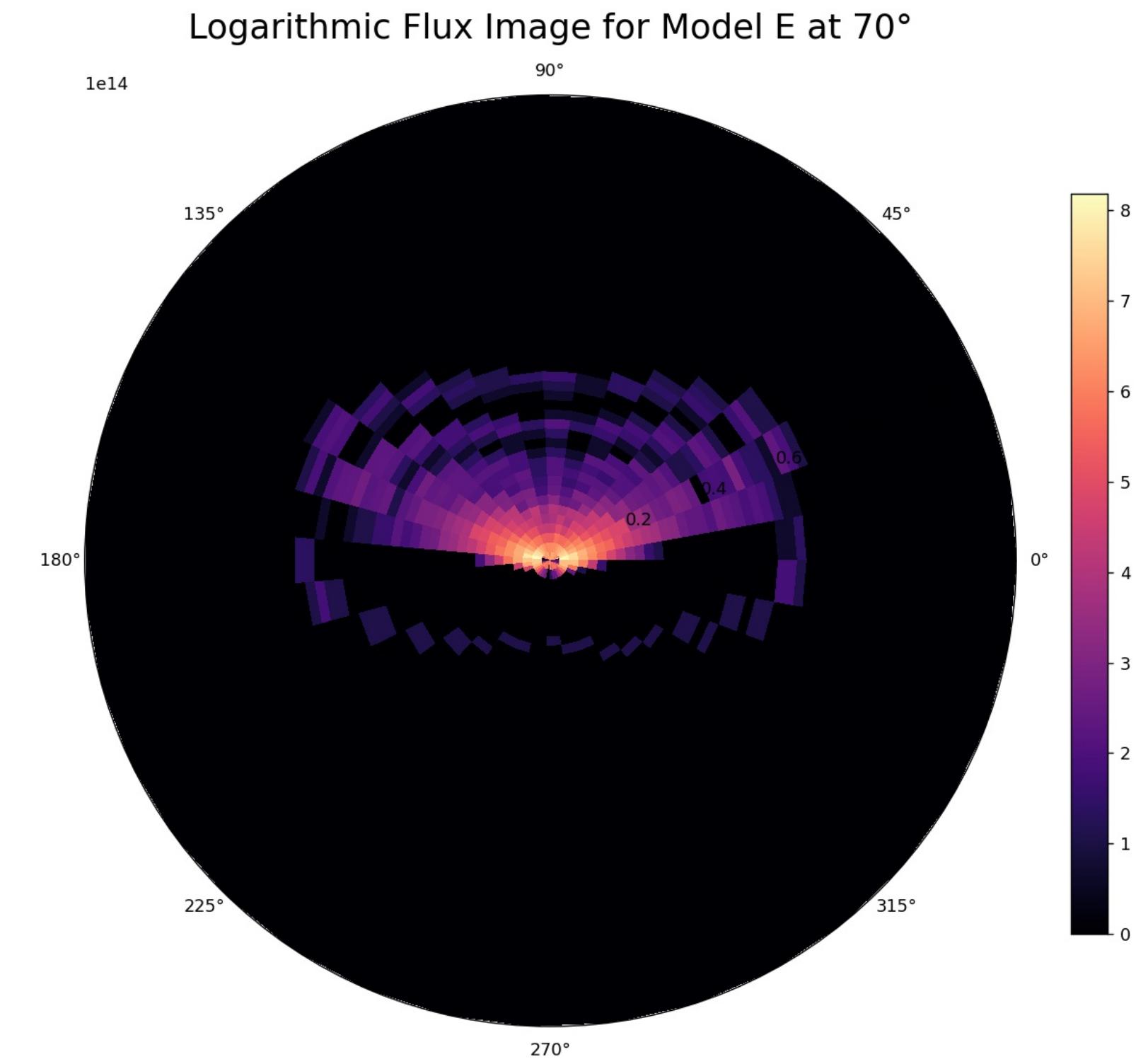
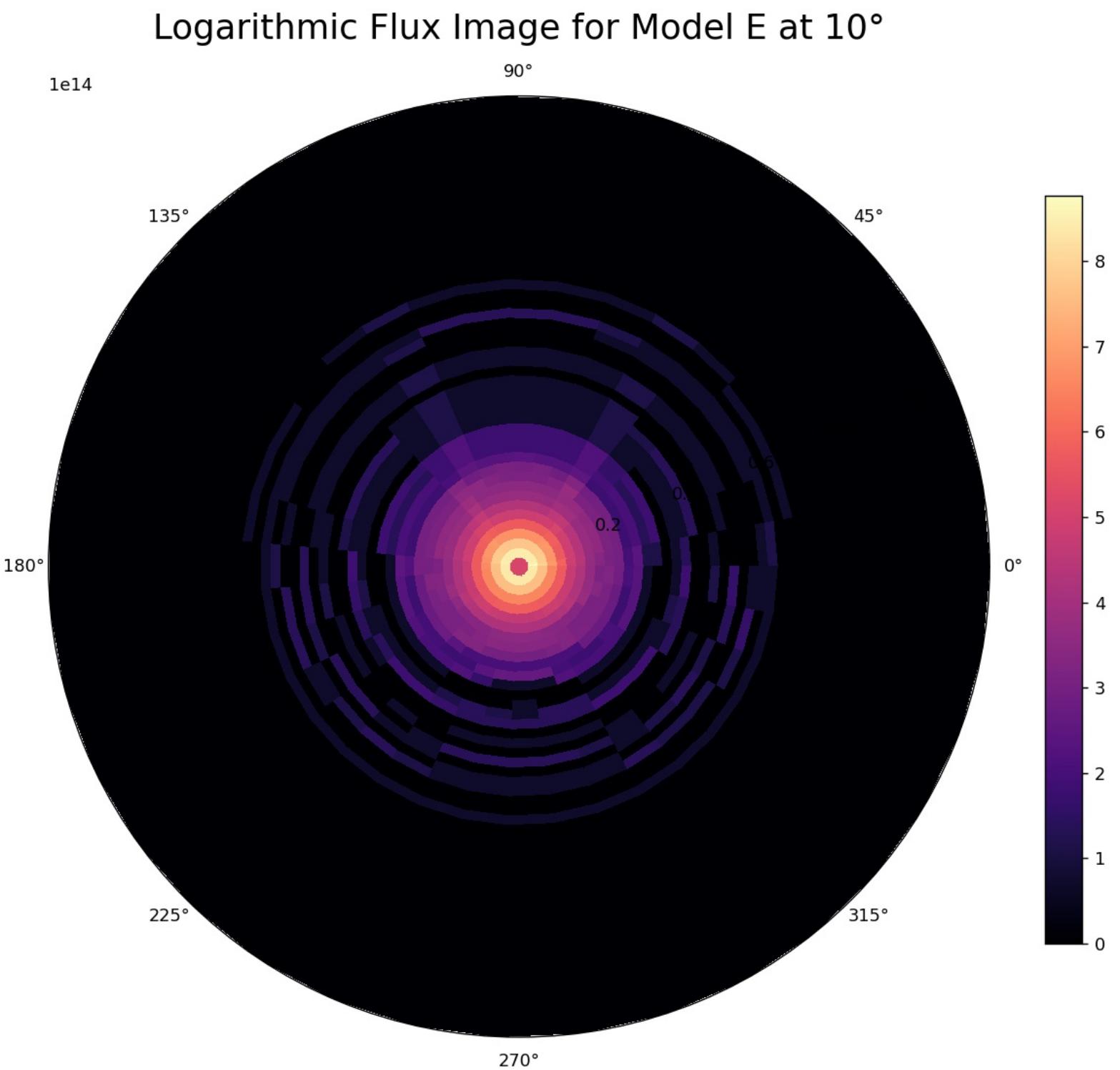
# SIMULACIONES

- **Separa el disco y el flujo en zonas. Luego simula la creación, la trayectoria y las interacciones de un gran número de fotones provenientes de la estrella. La simulación de un fotón termina cuando logra “escapar” del sistema.**
  - **Dado que el código solo simula discos pasivos con flujos, también decidimos calcular un disco de acreción externamente y añadirlo a los resultados para explorar el caso de un disco de activo con este tipo de flujos.**
  - **Creamos una pieza de código sencilla para reconstruir imágenes de baja resolución a partir de los resultados numéricos de las simulaciones.**
-

# RECONSTRUCCIONES DE SIMULACIONES PREVIAS



# RECONSTRUCCIONES DE SIMULACIONES PREVIAS



**Después de muchas simulaciones...**

Model C with a smaller  $R_{sub}$

$\lambda F_\lambda$  [ erg  $cm^{-2} s^{-1}$  ]

$\log(\lambda)$  [ micron ]

$\lambda F_\lambda$  [  $cm^{-2} s^{-1}$  ]

$\log(\lambda)$  [ micron ]

$\lambda F_\lambda$  [ erg  $cm^{-2} s^{-1}$  ]

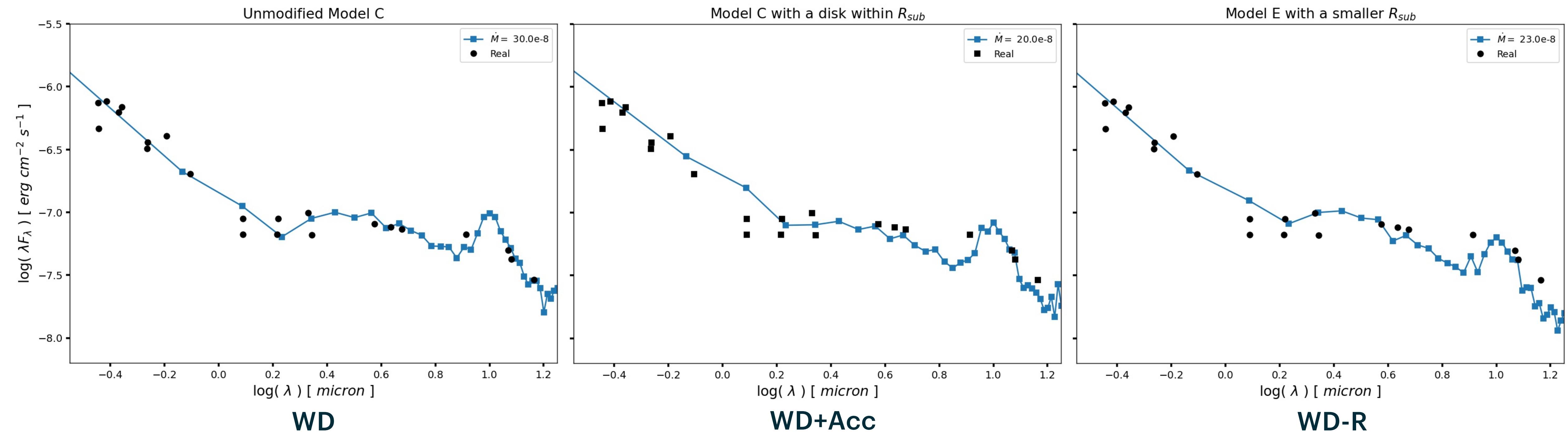
$\log(\lambda)$  [ micron ]

with a disk within  $R_{sub}$

■ Real  
■  $\dot{M} = 2.0e-8$

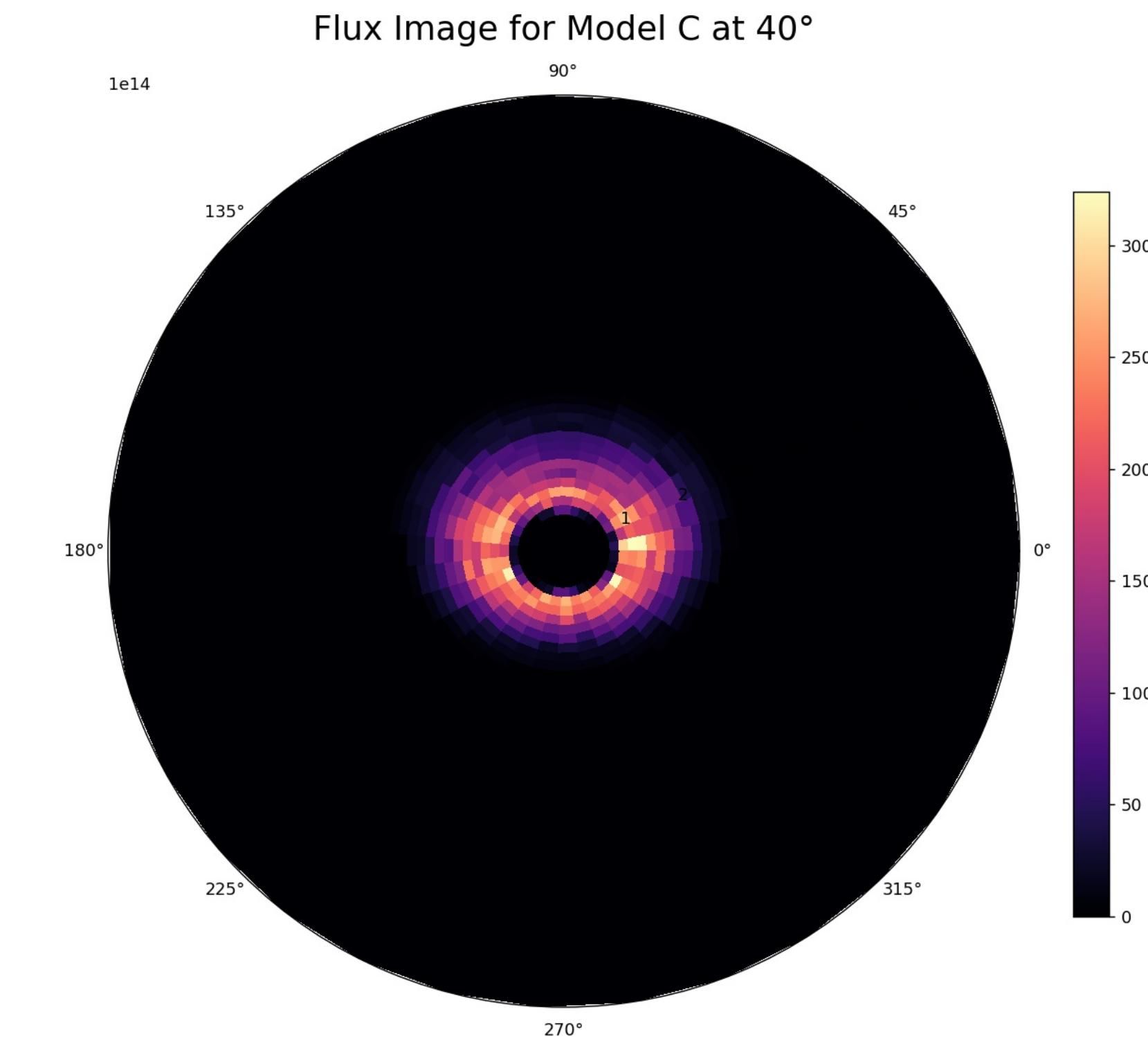
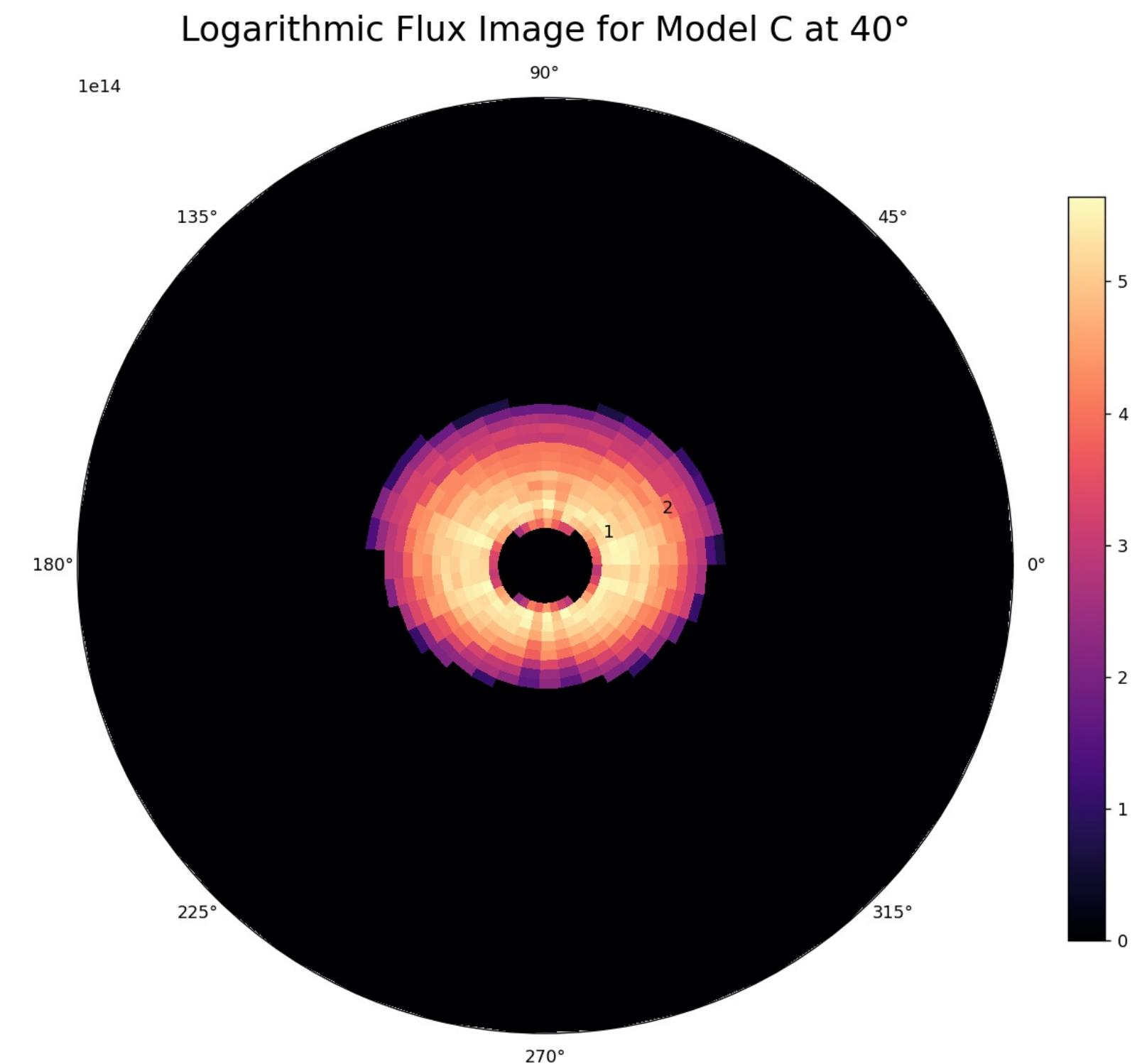


# MEJORES MODELOS

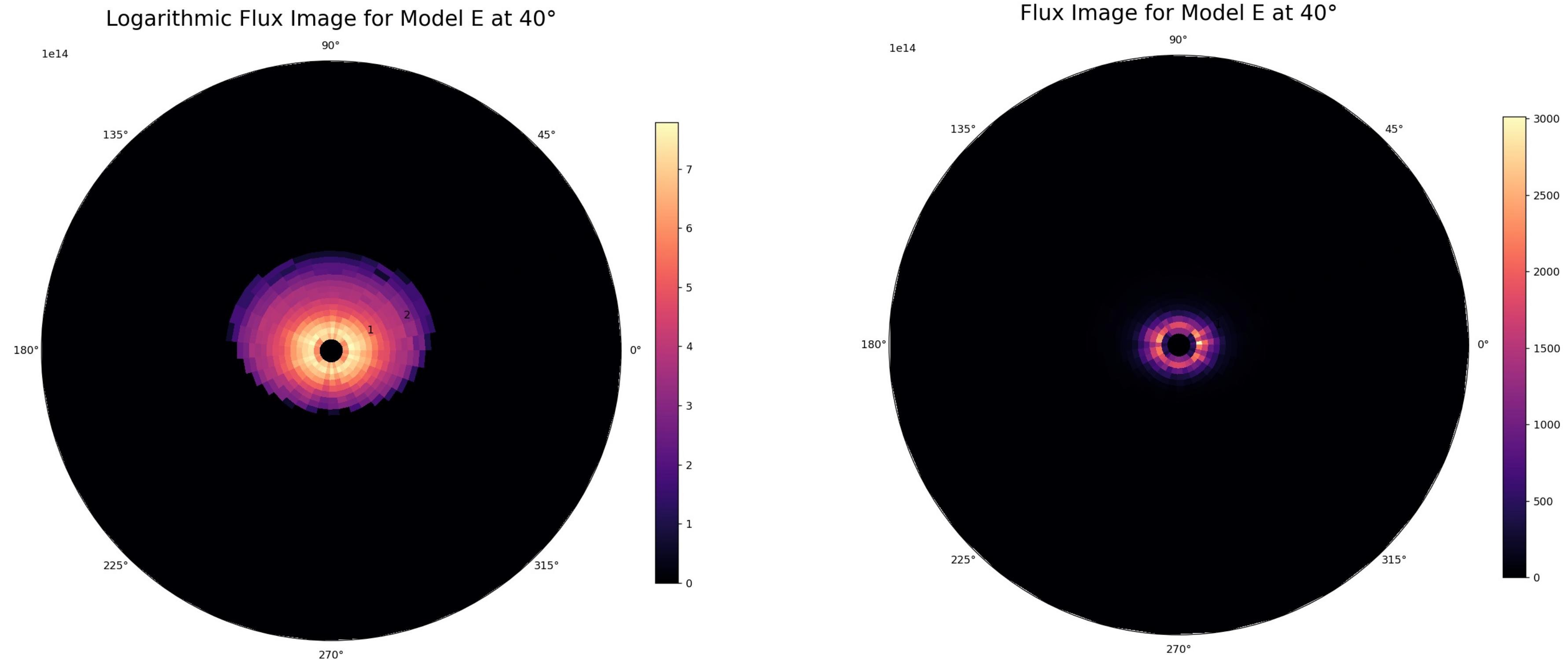


| Name   | Wind Type | $R_{sub}$ [AU] | $\dot{M}$ [ $M_\odot \text{yr}^{-1}$ ] | $r_{in}$ [AU] |
|--------|-----------|----------------|--|---------------|
| WD     | C         | 6.281          | $30^{+5}_{-5} \times 10^{-8}$          | -             |
| WD+Acc | C,E       | 6.281          | $25^{+5}_{-5} \times 10^{-8}$          | 0.5           |
| WD-R   | E         | 3.140          | $23^{+5}_{-5} \times 10^{-8}$          | -             |

# RECONSTRUCCIONES DE LAS IMÁGENES



# RECONSTRUCCIONES DE LAS IMÁGENES



# CONCLUSIONES DE MI TÉSIS

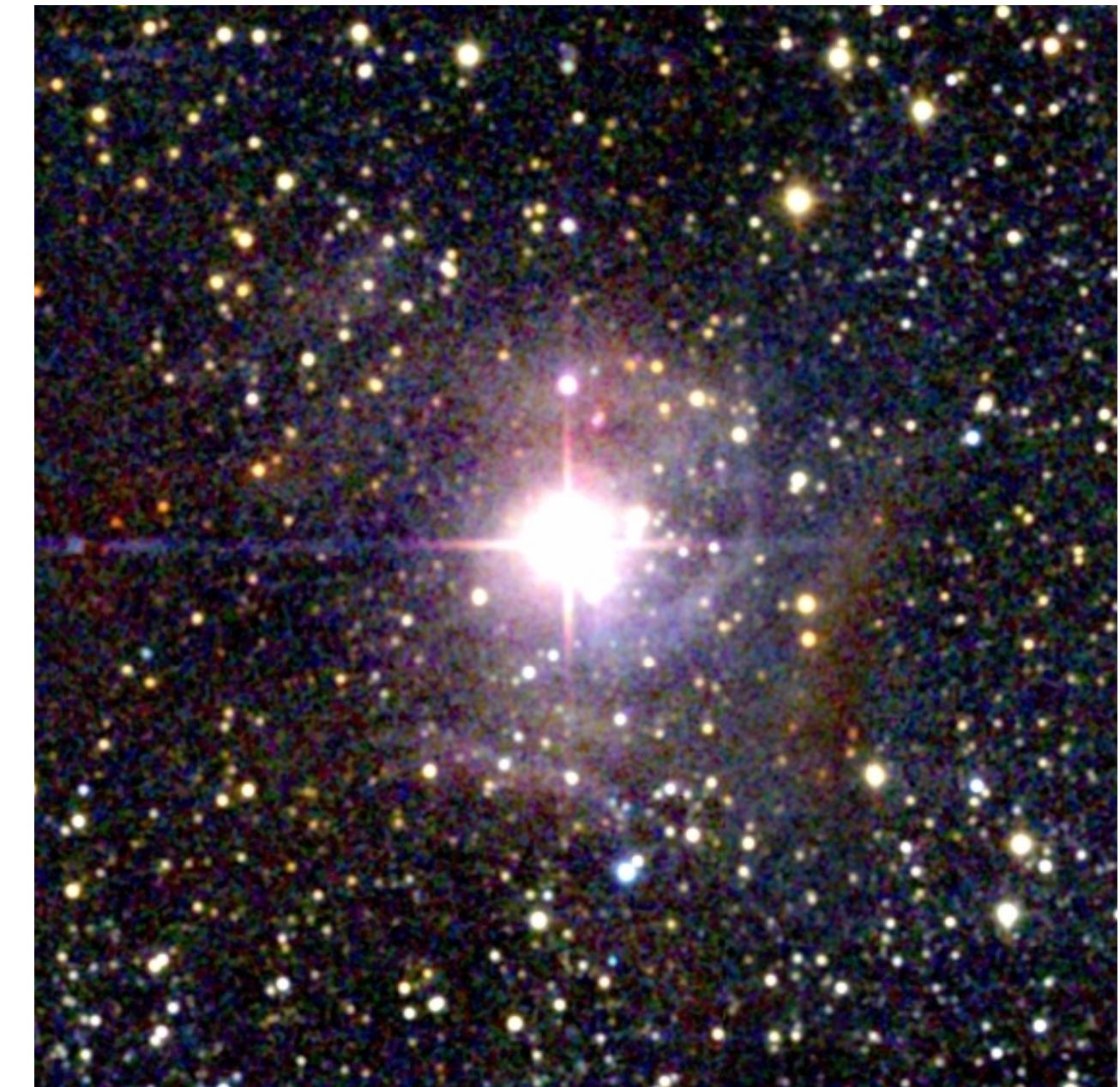
- **Los flujos soportados magnéticamente definitivamente deben de recibir más consideración para modelar HAeBe.**
- **Mejorar las simulaciones, incluir el disco de acreción dentro del código de simulación.**



MWC 297

# CONCLUSIONES GENERALES

- **Los objetos estelares jóvenes son cuerpos celestes increíblemente interesantes, dinámicos y nos ayudan a entender mejor la formación de sistemas planetarios como el nuestro.**
- **El entorno circumestelar alrededor de estos objetos es bastante rico y complejo, y aún hay mucho por aprender.**



MWC 297

---

# **¿PREGUNTAS?**

**¡Gracias por su atención!**

---