

# Evolución y crecimiento de polvo en discos protoplanetarios en sistemas estelares binarios y/o triples

Poster  
Nro: 10

María Paula Ronco ([mronco@astro.puc.cl](mailto:mronco@astro.puc.cl))  
, Octavio M. Guilera,  
Marcelo M. Miller Bertolami,  
Jorge Cuadra, Amelia Bayo y colab.  
**Grupo de Astrofísica Planetaria - GAP**

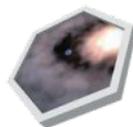


XI TCP 2022 - 14-18 de Febrero 2022



INSTITUTO DE ASTROFÍSICA  
FACULTAD DE FÍSICA

I A L P  
  
CONICET  
U N L P



**NPF**  
NÚCLEO MILENIO DE  
FORMACIÓN PLANETARIA



Facultad de Ciencias  
**Astronómicas  
y Geofísicas**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



INSTITUTO  
FÍSICA  
Y  
Astronomía



**UAI**  
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

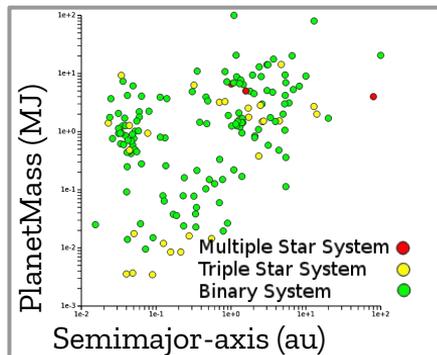
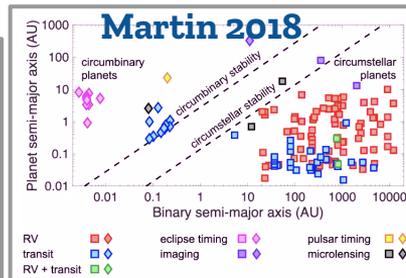
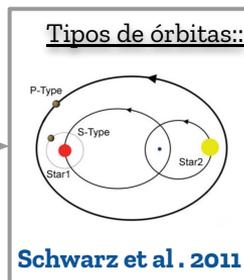
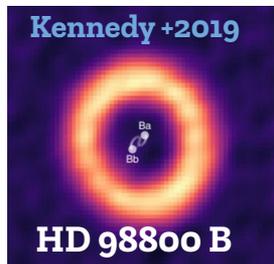


# ¿Por qué estudiar la evolución de discos en sistemas estelares binarios y/o múltiples ?

Existe una gran diversidad de discos protoplanetarios en sistemas estelares múltiples

Y también existe una creciente población de exoplanetas en sistemas binarios y/o múltiples que debieron formarse inmersos en estos discos

Los procesos de formación planetaria en estos escenarios pueden ser diferentes a los que ocurre en discos circunestelares:



**En discos alrededor de una de las componentes de un sistema binario:**

- Discos truncados → menos masa de gas y sólidos disponible → tiempos de disipación más cortos.

**En discos circumbinarios:**

- Cavidades internas generadas por la binaria → limitación en la acreción de gas → tiempos de disipación más largos

**En discos en sistemas triples estos fenómenos se combinan.**

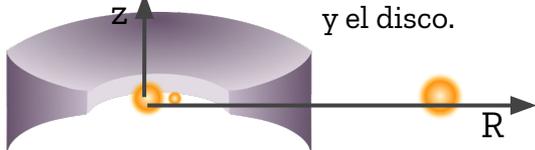
# Recientemente estudiamos las escalas de tiempo de vida de discos en sistemas estelares jerárquicos triples (Ronco et al. 2021)

En **Ronco et al. 2021 (R21)** adaptamos parte de nuestro código de formación planetaria en estrellas simples, **PlanetaLP (Ronco et al. 2017, Guilera et al. 2019, 2020 y otros)**, al estudio de discos en sistemas estelares jerárquicos triples.

**PlanetaLP-B** computa:

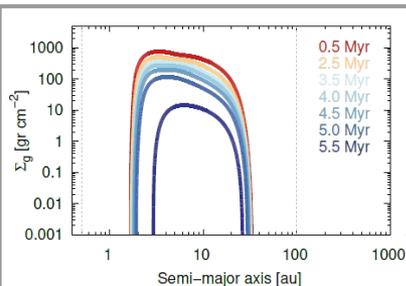
- 1) La estructura vertical de un disco circumbinario irradiado por la binaria central y calentado por el sistema binario central y por el formado por la binaria central y la estrella externa.
- 2) La evolución del disco de gas por acreción viscosa, acreción por streams y fotoevaporación por RX.

**Escenario de estudio:** Órbita circular y coplanar para la binaria interna, la externa y el disco.



**Evaluamos discos arbitrarios con:**

- $qI = M2/M1 = 0.1, 0.5$  y  $1$ ,
- $qII = M3/(M2+M1) = 0.1, 0.5$  y  $1$ , siendo siempre  $M1+M2 = 1M_{\odot}$ .
- $aI = 0.5, 1$  y  $1.5$  ua
- $aII = 100, 500$  y  $1000$  ua
- $Md = 0.05 M_{\odot}$  y  $\alpha = 0.001$



Disco de  $Md=0.05M_{\odot}$ ,  $\alpha = 0.001$ .

Evolución de un disco de gas alrededor de un sistema estelar triple con  $M1=M2=0.5M_{\odot}$   $aI = 0.5$ ua y  $aII = 100$  ua.

**Aplicación:**

Aplicamos PlanetaLP-B al disco circumbinario del sistema estelar jerárquico cuádruple HD 98800. El disco tiene  $\sim 10$ Ma de edad y aún contiene  $\sim 5M_{Jup}$  de gas.



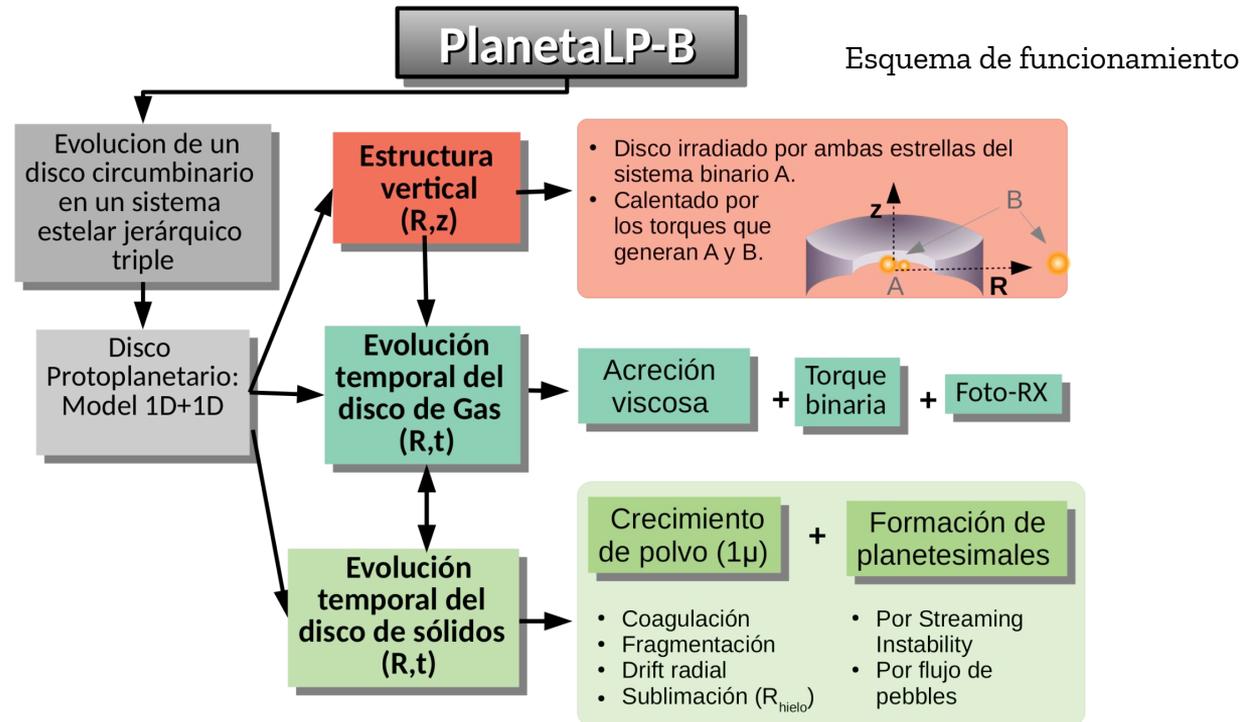
**Encontramos que los discos en sistemas triples son capaces de sobrevivir por varios Ma, y logramos explicar la edad de HD98800 B con nuestro modelo !**

# Ahora queremos estudiar el comportamiento del polvo en estos escenarios, cómo crece y evoluciona (Ronco et al. 2022 in prep.)

\* Con el objetivo **futuro** de estudiar la formación planetaria en sistemas binarios y/o múltiples, incorporamos a nuestro disco de gas, la evolución de una componente sólida formada por polvo de  $1\mu\text{m}$ .

\* El polvo es capaz de crecer (coagulándose y/o fragmentándose) formando pebbles ( $\sim\text{cm}$ ), de migrar por la interacción con el disco de gas y de sublimarse.

\* En regiones donde el polvo se acumula lo suficiente, es capaz de formar planetesimales ( $\sim\text{km}$ ).



Ver también Póster 17 (José Gómez et al.) y 39 (Agustín Correa et al.) para estudios de síntesis poblacional de discos circumestelares y evolución de discos circumprimarios en sistemas estelares binarios.

# Modelado del Polvo, formación de planetesimales y condiciones iniciales:

\* La evolución temporal del polvo se computa siguiendo **Guilera et al. 2020**, pero ahora incorporando los torques generados por ambos sistemas A y B sobre el polvo.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\Sigma_d) + \underbrace{\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \bar{v} \Sigma_d) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r D^* \Sigma_d \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\Sigma_d}{\Sigma_g} \right) \right]}_{\text{Migración radial + difusión}} + \underbrace{\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{2(\Lambda_I + \Lambda_{II} \Sigma_d)}{\Omega} \right)}_{\text{Torques generados por los sistemas A y B}} = \underbrace{\dot{\Sigma}_d}_{\text{Form. de planetes.}}$$

\* El crecimiento del polvo se resuelve siguiendo **Birntiel et al. 2011**

$$r_d^{\max}(t) = \min(r_d^0 \exp(t/\tau_{\text{growth}}), r_{\text{drift}}^{\max}, r_{\text{frag}}^{\max})$$

Tamaño máximo del polvo (por bin radial y a cada paso temporal)      Limitado por el máximo crecimiento por coagulación, por drift radial y por fragmentación      Modelo analítico **Birntiel et al. 2011**

\* Computamos formación de planetesimales por Streaming Instability (**Youdin & Goodman 2005**)

$$\sum_{St > 10^{-2}} \frac{\rho_d(St)}{\rho_g} > 1. \quad \longrightarrow \quad d\Sigma_p = \zeta \frac{\Sigma_d(St > 10^{-2})}{T_K} dt,$$

Siguiendo a **Drazcowska et al. (2016)**, verificamos si la densidad de pebbles es comparable a la densidad del disco de gas (a cada t y bin radial)      Cuando se cumple la condición de SI transferimos parte de la densidad superficial de polvo/ pebbles a planetesimales.

\* Condiciones iniciales: (Caso fiducial de **R21**)

### Del Sistema Estelar triple (y Circumbinario):

- $M_1 = M_2 = 0.5 M_{\odot}$  -  $M_3 = 1 M_{\odot}$  -  $qI = qII = 1$
- $aI = 0.5 \text{ ua}$  -  $aII = 100 \text{ au}$

### Del Disco Protoplanetario:

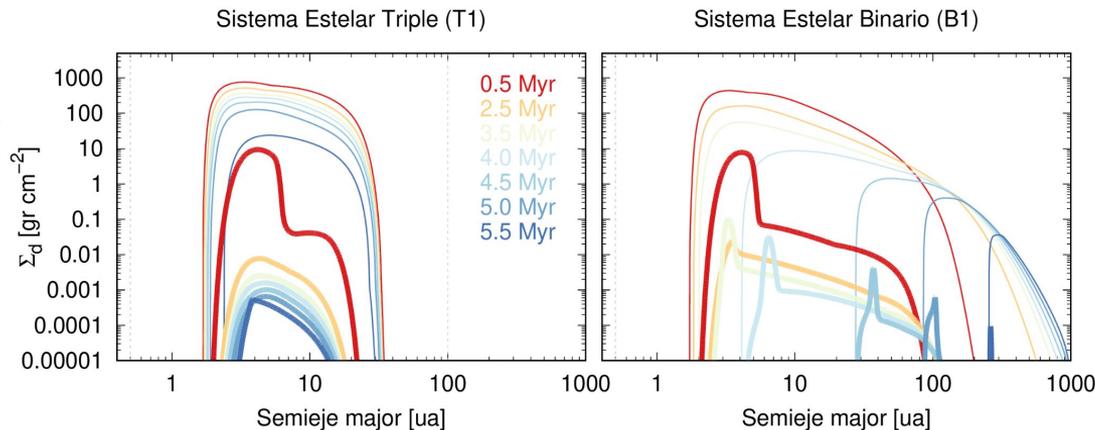
- Masa =  $0.05 M_{\odot}$  - Radio Característico = 39 ua
- Párametro de visco  $\alpha = 0.001$  - Exponente  $\gamma = 1$

# Resultados preliminares: Evolución del Polvo en un Disco en Triple vs un Circumbinario

\* Evolución de los discos T1 y B1 (R21) con la componente sólida incluida.

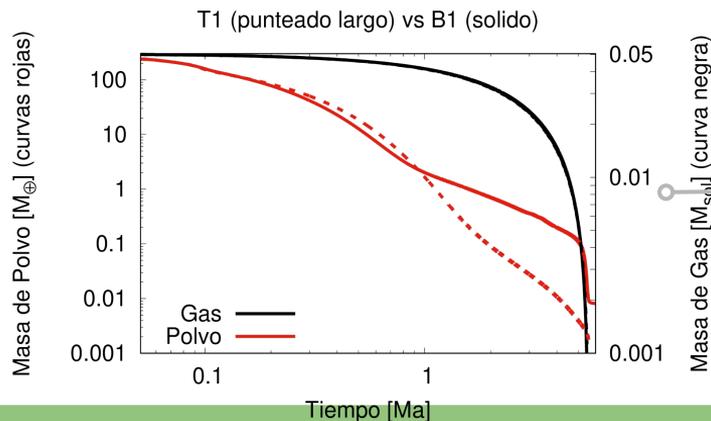
\* **Tendencia:** El ~ 100% de la masa de sólidos ( que se pierde por sublimación al atravesar la línea de hielo ) se pierde de forma análoga en ambos casos hasta ~1Ma. Los perfiles en T1 y B1 sin embargo exponen diferencias significativas, así como para el gas.

\* **T1 y B1 disipan en la misma escala de tiempo, unos ~5,5Ma ( ver R21)**



\* **Disco de gas (curvas finas):** pérdida de masa sólo por fotoevap. Los torques inhiben la pérdida de masa por acreción estelar.

\* **Disco de polvo (curvas gruesas)**



**Problema!**  
(sin solución aún)

Estamos sobreestimando la pérdida de masa por sublimación de las pebbles que cruzan Rhielo debido a la difusión.

# Resultados preliminares: Crecimiento del Polvo: Sin formación de planetesimales

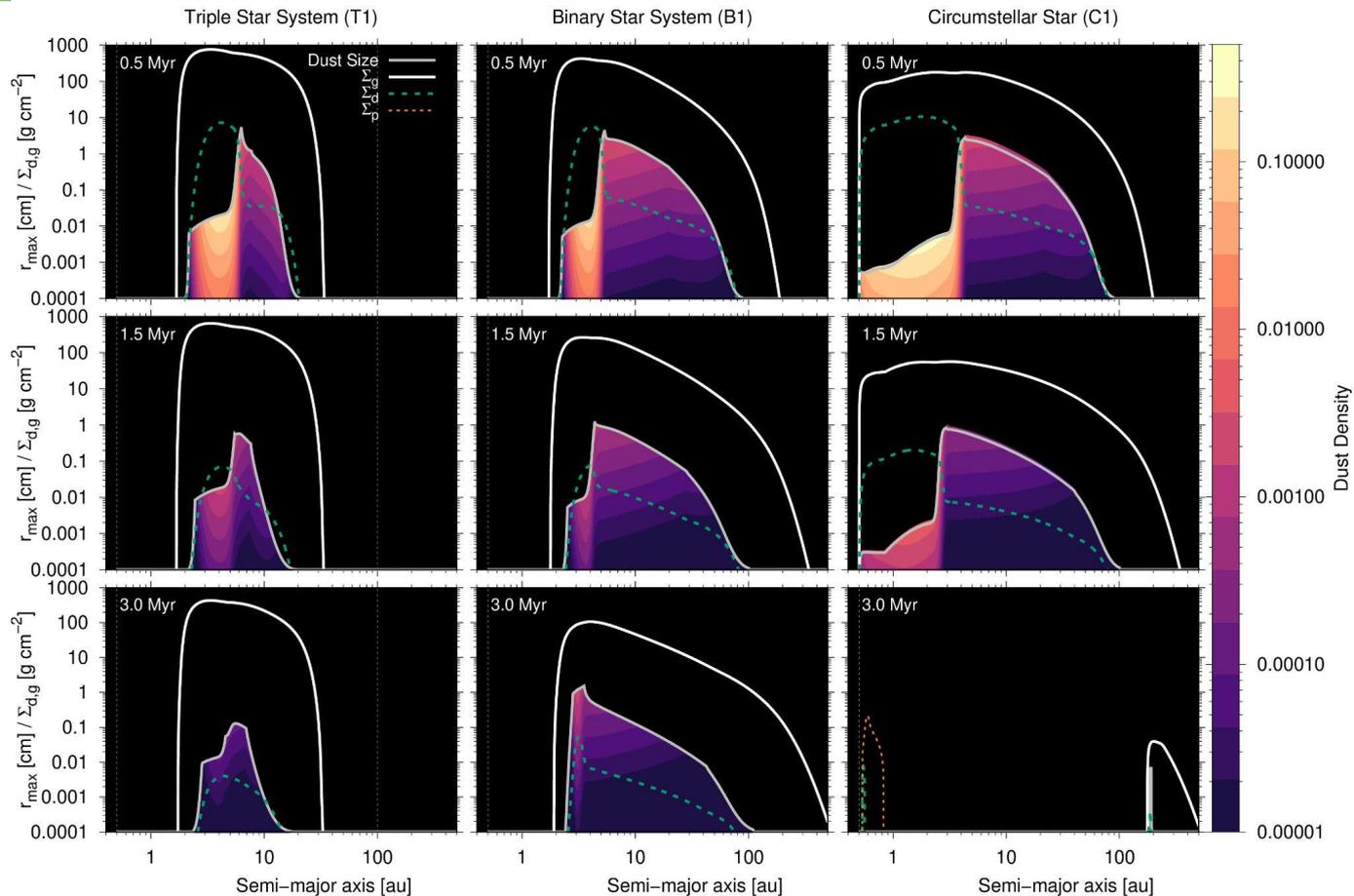
\* Snapshots a diferentes edades de T1, B1 y C1 (R21):

\* Acumulación de sólidos en las regiones internas para cada caso.

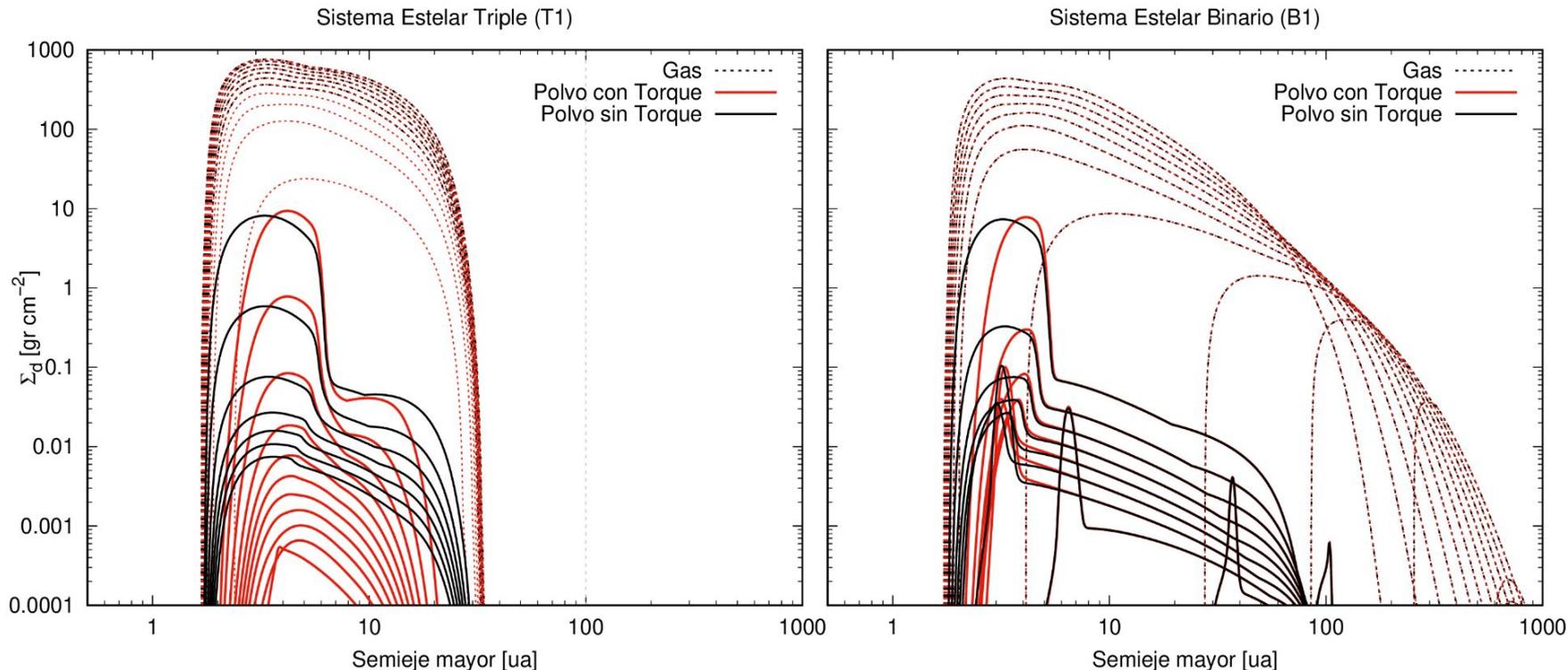
\*  $\Sigma_d/\Sigma_g$  insuficiente en T1 y B1 para formar planetesimales, al menos bajo los parámetros considerados y con la pérdida de masa sobreestimada.

\* C1 muestra formación únicamente en la región interna del disco.

\* El polvo crece en las regiones externas hasta  $\sim 10$ cm en los primeros 0.5Ma



# Efecto de los torques sobre el disco de polvo



Evolución de los perfiles de densidad superficial de gas (líneas punteadas) y de sólidos (líneas sólidas) teniendo en cuenta el efecto del torque sobre el disco de polvo (rojo) y despreciándolo (negro). Los torques internos (B1) expanden la cavidad del sólido y los torques externos (T1) truncan más el disco confinándolo a evolucionar en un anillo más angosto.

# Ideas finales (no muchas aún y por ahora poco alentadoras)

- Evolución rápida. La mayor cantidad del sólido se pierde en el primer Ma ( en acuerdo con trabajos previos ) - Negativo para la formación planetaria.
- No se logra (por el momento) satisfacer la condición de Streaming Instability para la formación de planetesimales.
- Problemas con la pérdida de masa —> ¿ motivo por el cual no formamos planetesimales ?

## Trabajo en progreso:

- Estudio amplio de parámetros de disco y estelares para determinar formación de planetesimales.
- Estudio de formación de planetesimales por medio del mecanismo de flujo de pebbles ([Lenz et al. 2019](#))
- Problema de la sublimación.
- Evolución dinámica de planetesimales (para cuando se formen).