



# Síntesis poblacional de discos protoplanetarios

**Objetivo:** implementar condiciones iniciales basadas en las estadísticas observacionales dentro de nuestros cálculos de síntesis poblacional para la formación planetaria.

Comenzaremos implementado dicha síntesis poblacional considerando solamente la componente gaseosa del disco protoplanetario, a partir de distribuciones para las masas iniciales de los discos y las luminosidades estelares en rayos X inferidas de las observaciones.

Jose Gomez

([josepluis21@gmail.com](mailto:josepluis21@gmail.com))

Octavio M. Guilera

Marcelo M. Miller Bertolami

María Paula Ronco

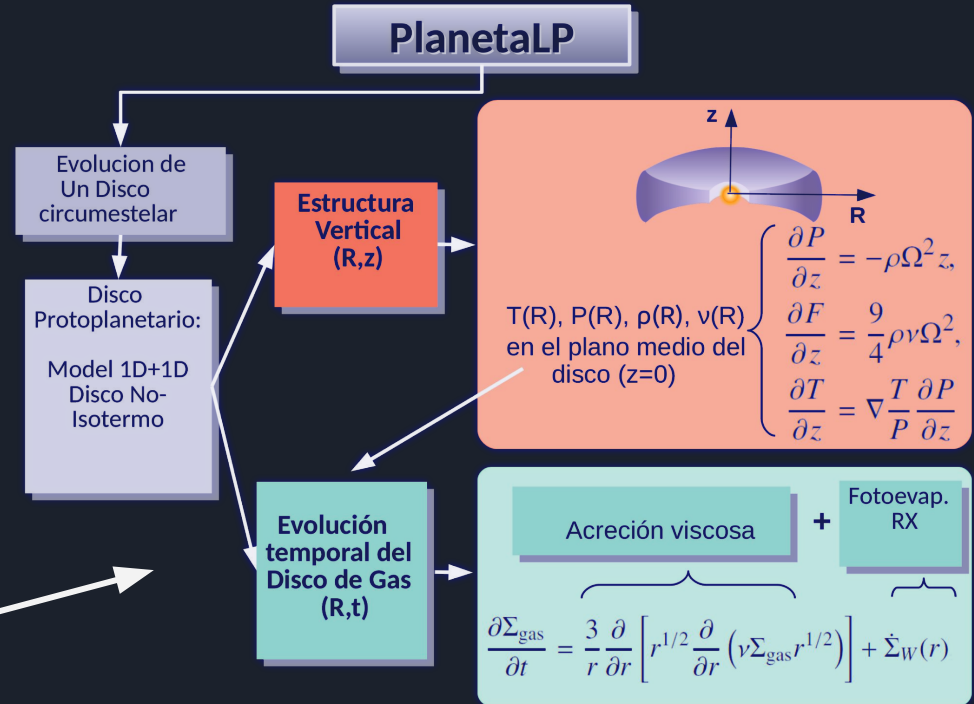
-Grupo de Astrofísica Planetaria de La Plata-

# Modelo del disco no isoterma: PLANETALP

(Guilera et al. 2017, 2019)

En este trabajo vamos a emplear el modelo de evolución de la componente gaseosa del disco protoplanetario implementado en PLANETALP. Compararemos los resultados de nuestras síntesis poblacional de discos protoplanetarios con los resultados de trabajos previos (Emsenhuber et al. 2021, Monsch et al. 2021).

Diagrama representativo del modelo para calcular la evolución de la componente gaseosa de un disco protoplanetario.



# Parámetros del modelos y condiciones Iniciales

La densidad superficial inicial que asumimos esta dada por ( Andrews et al 2010):

$$\Sigma_g(R) = \Sigma_g^0 \left( \frac{R}{R_c} \right)^{-b} e^{-(R/R_c)^{2-b}}$$

donde:  $R_c$  es el radio característico,  $b$  es el exponente de la distribución de masa,  $\alpha$  es un parámetro asociado a la viscosidad y  $\Sigma_g^0$  es una constante de normalización que depende de la masa inicial del disco.

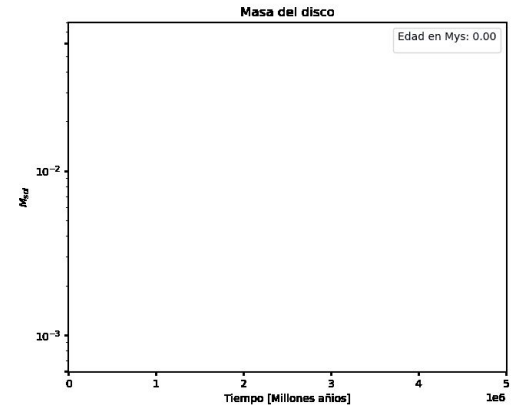
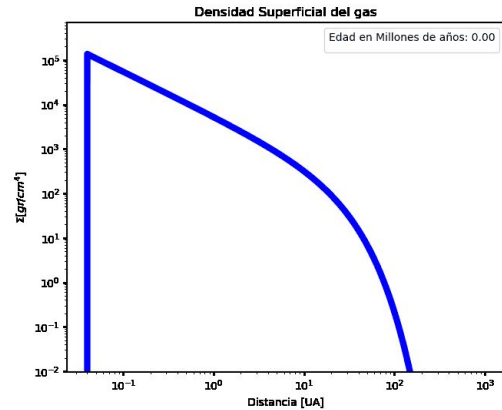
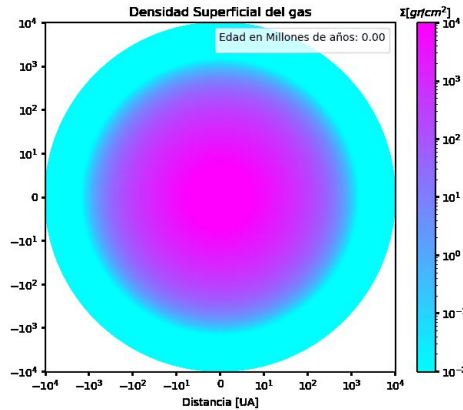
❑ Viscosidad definida como  $\nu = \alpha c_s h$

❑ Constante de normalización  $\Sigma_g^0 = (2 - b) \frac{M_{D,t=0}}{2\pi R_c^2}$

Una condición inicial para un disco se define fijando: la masa Inicial del disco, el radio característico, el parámetro asociado a la viscosidad y el exponente de la distribución de masa. Además también hay que definir la masa y la luminosidad en rayos X de la estrella central.

# Evolución de un disco arbitrario

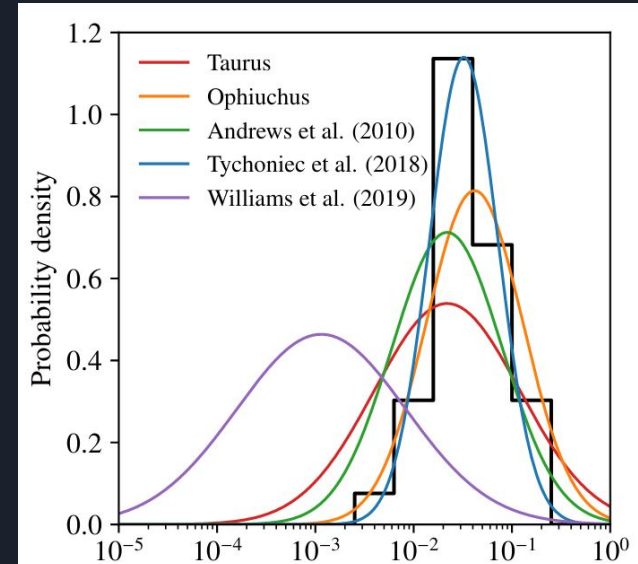
Mostramos la evolución de un disco arbitrario con los siguientes parámetros iniciales: exponente de la distribución de masa  $b=1$ , masa inicial del disco  $0.07 \text{ Msol}$ , radio característico  $18 \text{ ua}$ , parametro de viscosidad  $\alpha=0.00069$ , masa de la estrella central  $=0.7 \text{ Msol}$  y luminosidad de rayos X de la estrella central  $9.1e+29(\text{erg/s})$



Link [video](#)

# Condiciones iniciales para la síntesis poblacional: distribución considerada para las masas iniciales de los discos

- Distribución de masas basada en el trabajo de Emsenhuber et al. (2021).
- Adoptamos la distribución aleatoria de masa inicial de disco obtenidas por Tychonic et al. (2018).
- Generamos tres set de condiciones iniciales para 1000 discos protoplanetarios. Tomamos tres valores del parametro viscosidade  $\alpha$ , manteniendo constante el radio característico (150 ua), el exponente de distribución de masa (0.9), la masa de estrella central (1 Msol) y la luminosidad de rayos X ( $2.34e+30$  erg/s ).



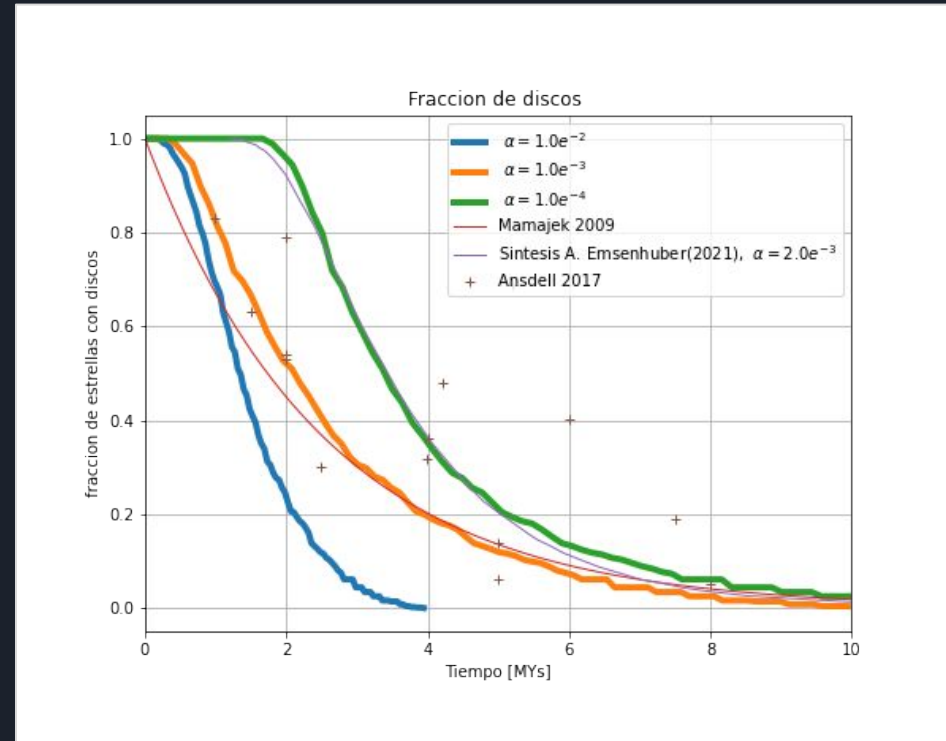
Distribuciones de masas iniciales de los discos utilizadas en Emsenhuber et al. (2021).

# Resultados de la síntesis poblacional de discos utilizando la distribución de masas iniciales de discos de Tychoniec et al. (2018)

Comparamos los resultados la fracción de estrellas con discos en función de las edades de las mismas de nuestras síntesis con los resultados de la síntesis realizada por Emsenhuber et al. (2021), con la estimación teórica obtenida a partir de las observación (Mamajek 2009) y con observaciones de de Ansell (2017).

Podemos ver que:

- ❑ A mayor viscosidad más eficiente la disipación de los discos,
- ❑ Nuestro modelo reproduce los resultados de Emsenhuber et al. (2021) con una viscosidad 20 veces menor,
- ❑ Nuestro modelo es capaz de reproducir muy bien las observaciones con parámetros de la viscosidad de  $1.e-4$  y  $1.e-3$ .



# Condiciones iniciales para las distribuciones de luminosidades de rayos X

El disco además de evolucionar viscosamente, también evoluciona por la fotoevaporación de rayos X debida a la estrella central. Realizamos también una síntesis poblacional de discos tomando dos distribuciones para la luminosidad de RX de la estrella central basándonos en el trabajo de Monsch et al. (2021), ver la Figura 1.

Tomamos las distribuciones luminosidades de rayos X inferidas para los cúmulos de Orión y Tauro. Para simplificar tomamos distribuciones gaussianas para aproximar ambas distribuciones, ver Figura 2.

- Consideramos tres parámetros para las viscosidades: 0.01, 0.0069 (Monsch et al. 2021) y 0.0001.
- Los demás parámetros los tomamos constantes e iguales al trabajo de Monsch (2021): exponente de la distribución de masa  $b=1$ , masa inicial del disco 0.07  $M_{\text{sol}}$ , radio característico 18 ua y masa de la estrella central de 0.7  $M_{\text{sol}}$ .

Fig. 1: distribuciones de luminosidades utilizadas en Monsch et al. (2021).

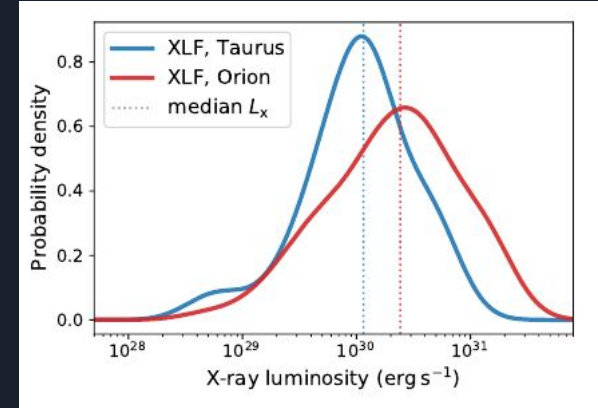
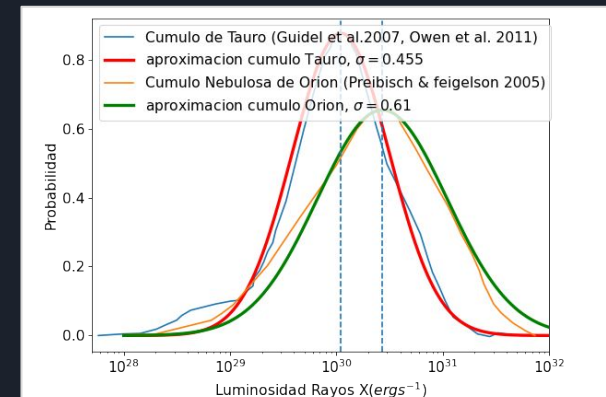


Fig. 2: Aproximaciones gaussianas.



# Resultado de la síntesis poblacional a partir de la distribución de luminosidad del cúmulo de Orión y Tauro para la luminosidad en RX

Comparamos los resultados de la fracción de estrellas con discos en función de la edad con los resultados de la síntesis realizada por Monsch et al. (2021):

- ❑ Encontramos que nuestro modelo reproduce la tendencia de los resultados de Monsch et al. (2021) con la distribución del cúmulo de Tauro, con parámetros de la viscosidad  $\alpha = 6.9 \times 10^{-4}$ . Ver Figura 1.
- ❑ A mayor luminosidad de RX, más eficiente es la disipación de la componente gaseosa del disco protoplanetario. Nuestro modelo reproduce los resultados de Monsch, distribución de Tauro, en los primeros 4 millones de años con la distribución de Tauro y para edad mayor a 6 millones de años con la distribución de Orión. Ver Figura 2.

Debido a que se consideró la binaridad de las estrellas en los cúmulos los resultados son reescalados a 0.86.

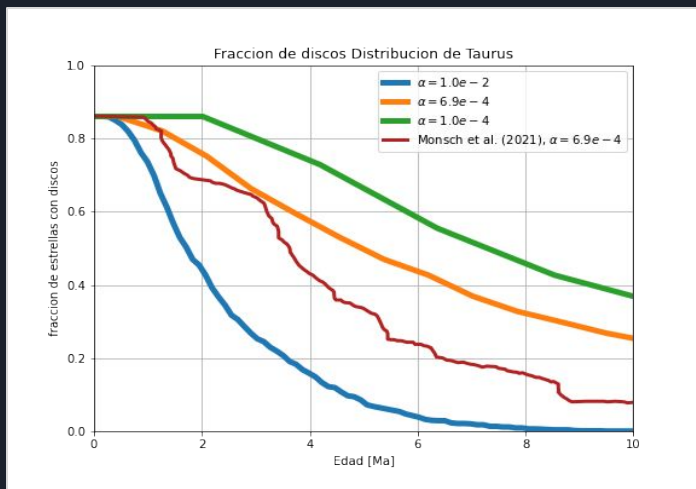


Figura 1: fracción de estrellas con discos como función del tiempo para 1000 discos considerando la distribución de luminosidad de RX del cúmulo de Tauro con valores del parámetro para la viscosidad de  $1.0 \times 10^{-2}$ ,  $6.9 \times 10^{-4}$  y  $1.0 \times 10^{-4}$ .

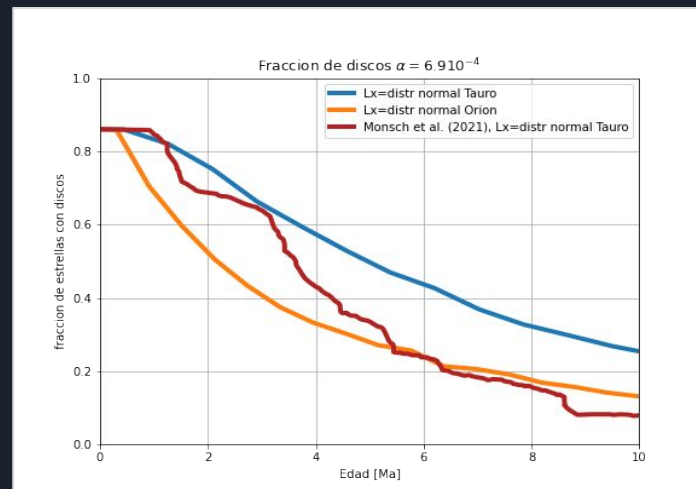


Figura 2: fracción de estrellas con discos como función del tiempo para 1000 discos, considerando las distribuciones de luminosidad de RX cúmulo de Orión y Tauro para un valor de parámetro de viscosidad  $6.9 \times 10^{-4}$ .



# Test de convergencia de resultados para N-discos

Realizamos un muestreo del número de discos para nuestra síntesis. Construimos cuatro sets de condiciones iniciales con 100, 500, 1000 y 2000 discos para cada parámetro considerado, masa inicial del disco (ver Figura 1) y luminosidad de RX de la estrella central (ver Figura 2). Encontramos que 1000 discos para la síntesis de discos protoplanetario, para cada parámetro, es una muestra significativa. No se observan cambios estadísticamente significativos en el resultado de la síntesis para un número mayor de discos.

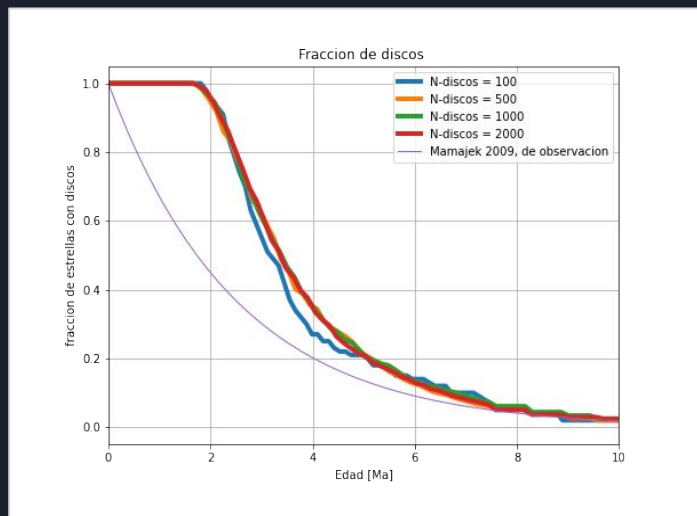


Figura 1: Fracción estrellas con discos como función del tiempo para cuatro sets de condiciones iniciales de 100, 500, 1000 y 2000 discos. Las masas iniciales de los discos siguen la distribución estadística de Tychonic et al. (2018). Se mantienen constantes: exponente de la distribución de masa (0.9), radio característico (150 ua), parámetro de viscosidad ( $1.0e-4$ ), la masa de estrella central (1 Msol) y la luminosidad de rayos X ( $2.34e+30$  erg/s).

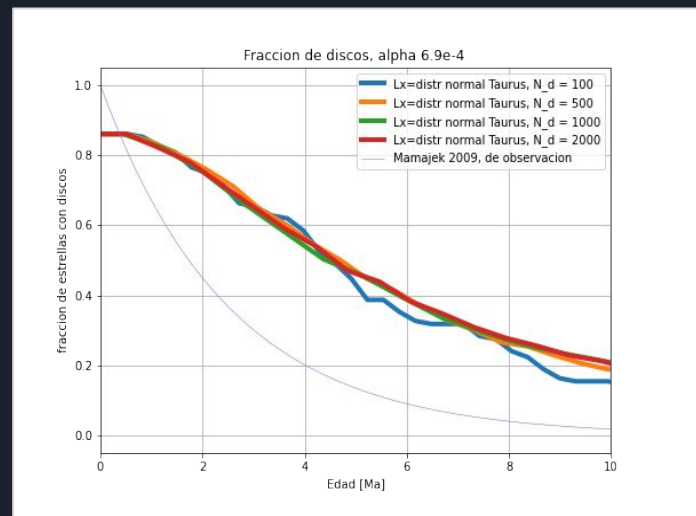


Figura 2: Fracción de estrellas con discos como función del tiempo para cuatro sets de condiciones iniciales para 100, 500, 1000 y 2000 discos. La luminosidad de RX sigue la distribución inferida para el cúmulo de Tauro (Guidel et al.2007, Owen et al. 2011), permanecen constante: masa inicial del disco (0.07 Msol), exponente de la distribución de masa (1.0), radio característico(18 ua), parámetro de viscosidad ( $6.9e-4$ ), masa de estrella central (0.7 Msol).



# Conclusiones:

En este trabajo estudiamos el impacto de las condiciones iniciales en los tiempos de disipación de los discos protoplanetario y comparamos nuestro resultados con los trabajos previos de Enshuber et al. (2021) y Monsch et al. (2021). Los principales resultados son los siguientes:

- ❑ Variando la masa inicial del disco, nuestro modelo es más eficiente disipando el disco de gas respecto de Enshuber et al. (2021). Esta diferencia podría deberse a la diferencia en los modelos de fotoevaporación implementados ( Enshuber et al. 2021 utilizan un modelo de fotoevaporación EUV en vez de RX).
- ❑ Nuestro modelo es capaz de reproducir muy bien las observaciones (Mamajek 2009 y Ansdell 2017).
- ❑ Variando la luminosidad en RX de la estrella central encontramos que podemos reproducir las tendencia de los resultados de Monsch et al. 2021. La diferencia de los detalles podrían deberse a la aproximación gaussiana de las distribuciones de luminosidades considerada o a la diferencia de la física implementada (Monsch et al. 2021 consideran una física menos detallada para computar la termodinámica del disco).

**Trabajo a futuro: incorporar distribuciones estadísticas inferidas de las observaciones para el resto de las condiciones iniciales.**