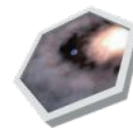


Evolución de discos protoplanetarios en sistemas estelares binarios

Agustín Correa(correaea@fcaglp.unlp.edu.ar),
María Paula Ronco, Marcelo M. Miller Bertolami,
Octavio M. Guillera
Grupo de Astrofísica Planetaria - GAP

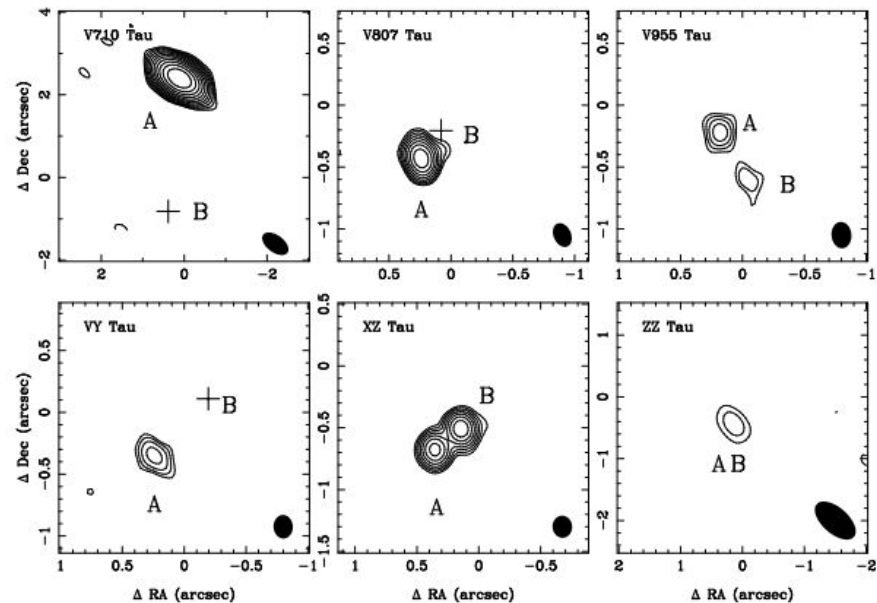


TCP 2022 - 14-18 de Febrero 2022



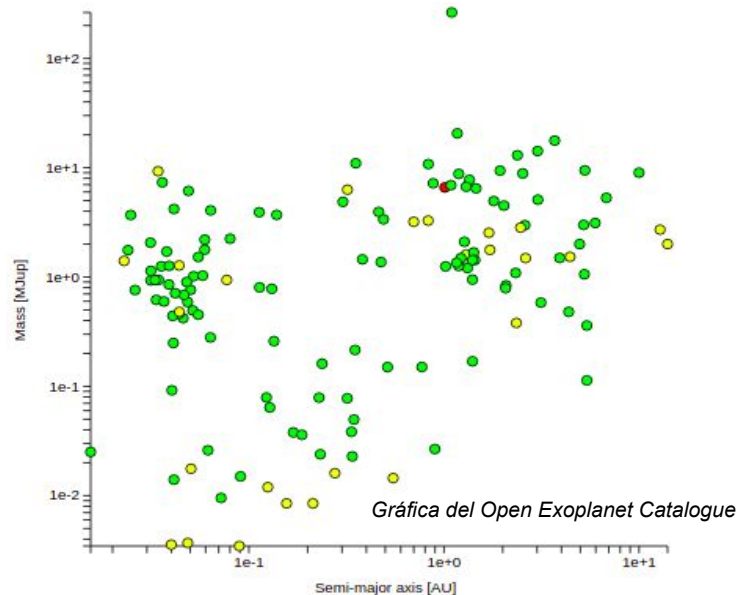
Introducción:

Al día de la fecha se han observado alrededor de 5000 exoplanetas. Estos “mundos” de diversas características forman sistemas diferentes a nuestro Sistema Solar. Por otro lado, gran parte de las estrellas de tipo Solar forman parte de sistemas binarios o múltiples y teniendo en cuenta que la formación planetaria es consecuencia de la formación estelar, es de esperar que encontremos cada vez más exoplanetas en este tipo de sistemas estelares.



Akeson et. al 2019. Emisión de discos en sistemas estelares binarios.

Formación Planetaria



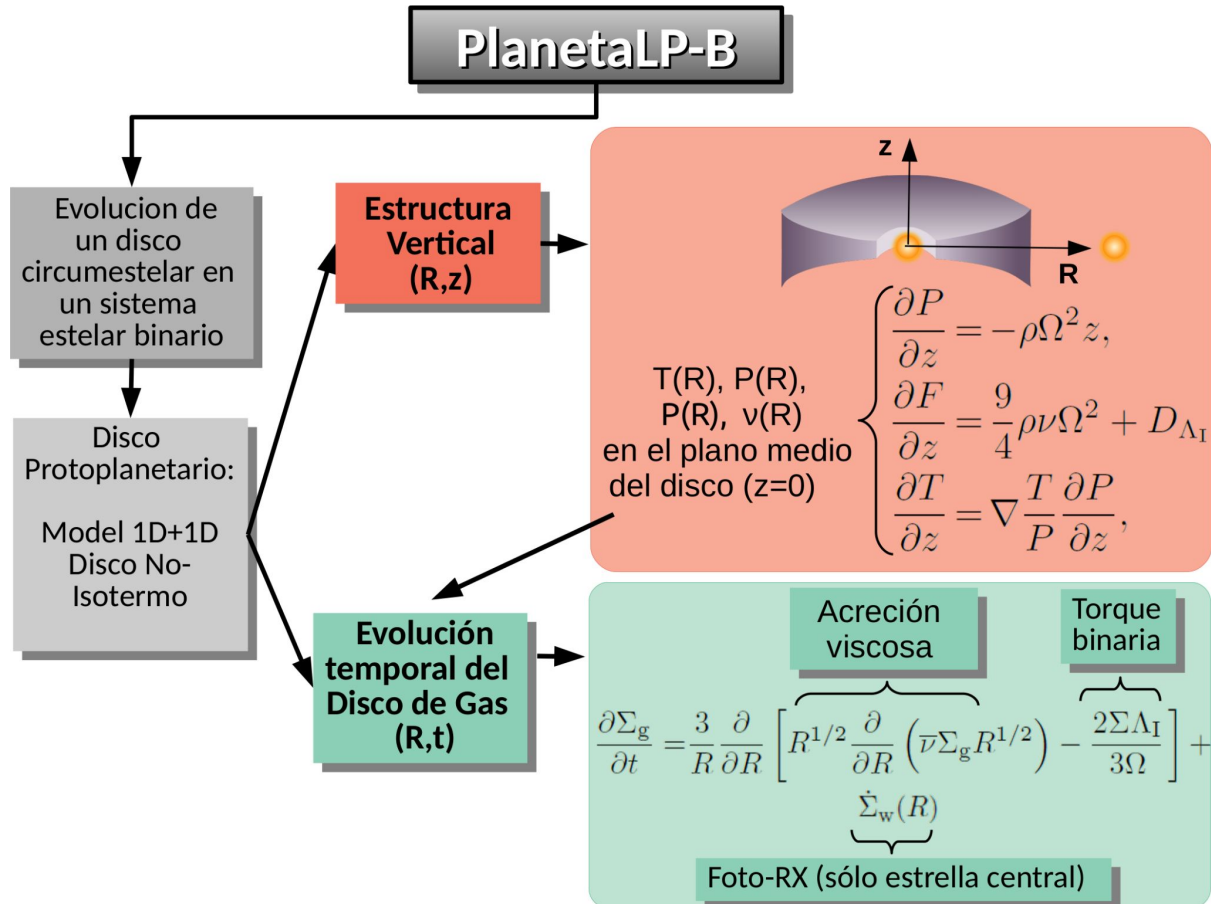
En el gráfico masa contra semieje mayor se representan los planetas detectados que orbitan a una componente de sistemas estelares múltiples. Los puntos verdes indican planetas que pertenecen a sistemas binarios y los amarillos a sistemas estelares triples. Actualmente hay 217 exoplanetas en sistemas estelares múltiples confirmados..

Motivación:

- Durante el proceso de formación estelar se forma también un disco en torno a la estrella en formación al cual llamamos disco protoplanetario. A partir de este disco, formado por gas y polvo, se da lugar a la formación planetaria.
- Trabajos previos han mostrado que los discos en sistemas estelares binarios, que orbitan en torno a una de las componentes, no se expanden más allá de una cierta distancia conocida como Radio de truncamiento, se disipan rápidamente y presentan menos material sólido que permitan la formación de planetas.
- A partir de esto, y con el objetivo de conocer mejor las escalas de tiempo de disipación de estos objetos, computamos la evolución de discos de gas que evolucionan por acreción viscosa y fotoevaporación de Rayos X, adoptando prescripciones actualizadas a las tasas de fotoevaporación de Owen et al. 2011, dadas por Picogna et al. 2019.

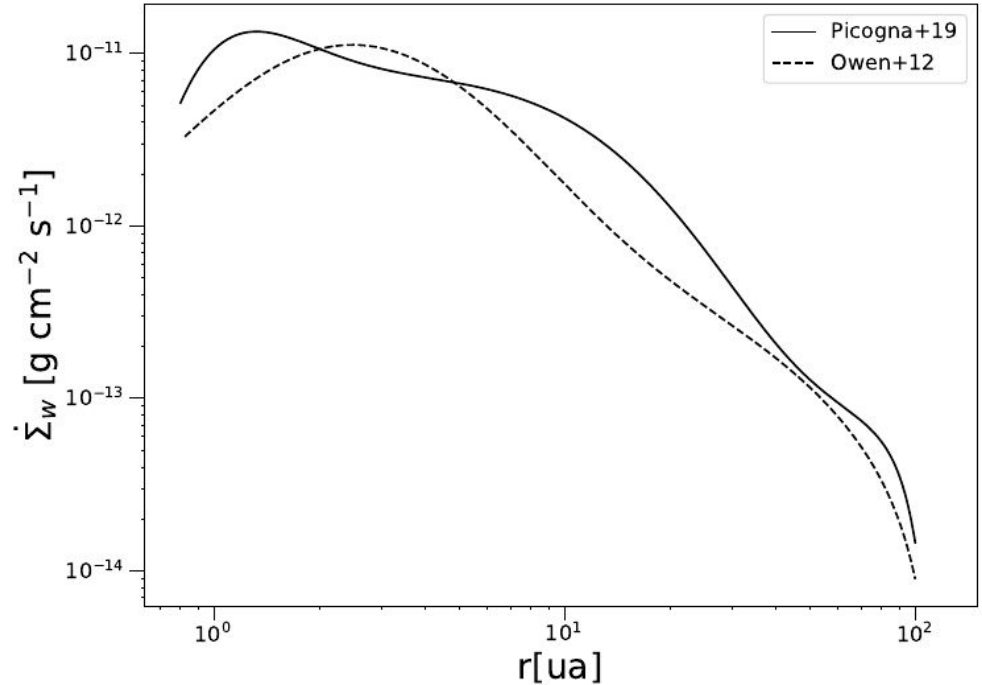
Código Numérico: PlanetaLP-B (Ronco et al. 2021)

- Para desarrollar nuestro estudio hacemos uso de PlanetaLP-B, un código que computa la estructura vertical y evolución de discos de gas en sistemas estelares binarios y/o triples (Ronco et al. 2021).
- El cómputo de la estructura vertical considera el calor generado por el sistema binario sobre el disco. El disco de gas, representado por Σ_g , evoluciona temporalmente por acreción viscosa y fotoevaporación de RX por parte de la estrella central. En la evolución temporal del disco de gas se tiene en cuenta el torque generado por el sistema binario sobre el mismo, que lo trunca por detrás.



Fotoevaporación:

- Un mecanismo importante que disipa el disco de gas es la fotoevaporación, en este caso, provocado por la estrella central. Despreciamos los efectos de la estrella externa.
- En estrellas de baja masa ($<2.5M_{\odot}$) predomina la fotoevaporación por rayos X frente a la EUV o FUV (Kunitomo et al. 2020).
- Mediante simulaciones hidrodinámicas Owen et al. 2012 derivan prescripciones para computar este mecanismo. Más recientemente Picogna et al. (2019) obtienen prescripciones actualizadas agregando mejoras en el esquema de temperatura, lo que permite representar mejor los efectos en las regiones externas del disco.
- Incorporamos estas nuevas tasas al nuestro código PlanetaLP-B. A la derecha mostramos las diferencias entre con las de Owen et al, 2012.



Comportamiento de las tasas de fotoevaporación de RX utilizadas, en función del radio orbital. P19 es más efectiva en las regiones más externas del disco.

Condiciones Iniciales:

Densidad de gas superficial inicial (Andrews et al. 2010):

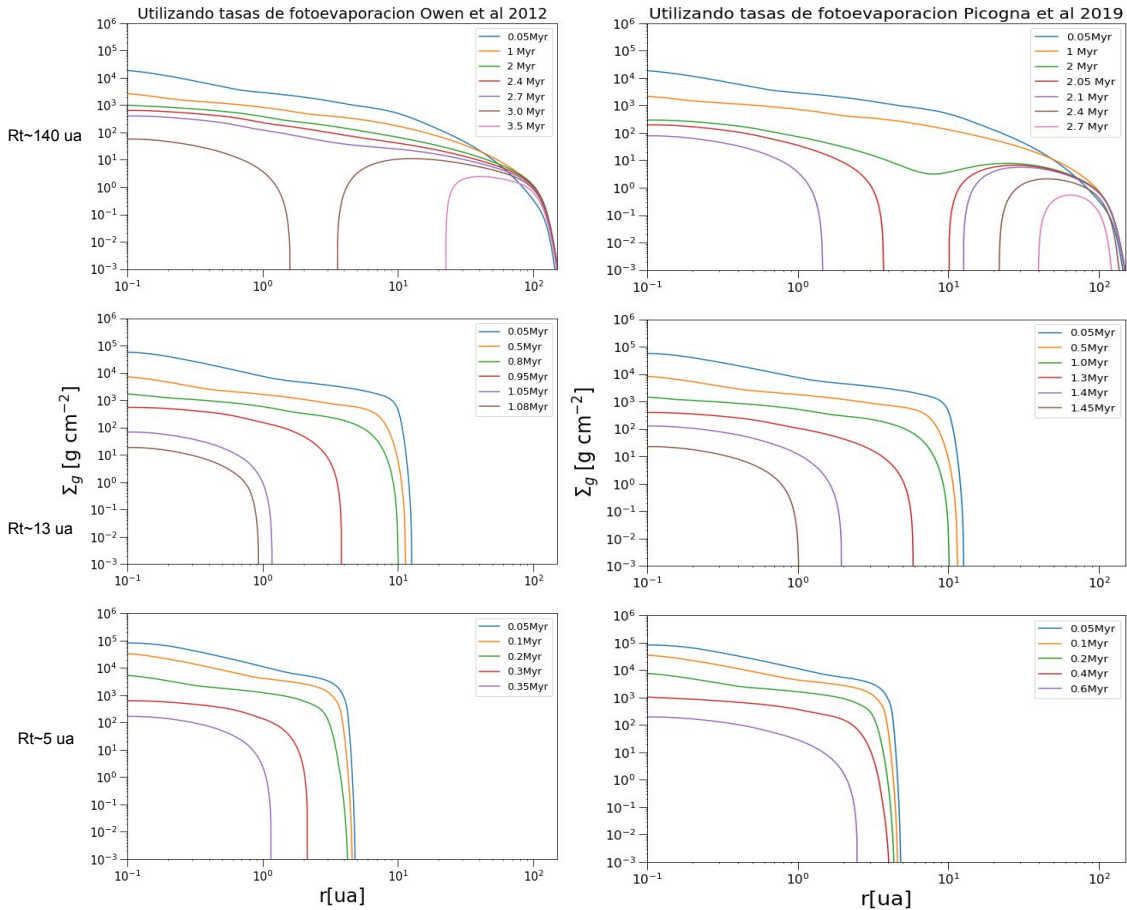
$$\Sigma_g = \Sigma_g^0 \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-\gamma} e^{-(R/R_0)^{2-\gamma}}$$

- Masa inicial del disco de gas de $0.1M_{\odot}$
- Parámetro $\alpha = 10^{-3}$
- Masa de las estrellas $M_1 = M_2 = 1 M_{\odot}$
- $\gamma = 1$
- Radio característico $R_0 = 18 \text{ ua}$

- Se consideraron diferentes valores para la separación del sistema estelar de modo de obtener radios de truncamientos R_t similares a los utilizados por Rosotti et al. 2018, quien también estudia la evolución de discos en sistemas binarios, a fin de poder comparar con los resultados de dicho trabajo.
- A partir del cociente de masas $q = M_2/M_1=1$ se obtuvo que el radio de truncamiento es siempre aproximadamente $\frac{1}{3}$ de la separación de la binaria, en muy buen acuerdo con trabajos previos (Papaloizou & Pringle 1977).
- En la siguiente tabla se muestran los valores para los semiejes que se tuvieron en cuenta para obtener los diferentes radios de truncamiento.

R_t [ua]	a [ua]
140	424.2
30	90.0
25	75.75
20	60.6
13	39.4
5	15.15

Resultados Preliminares:



- Utilizando las separaciones del sistema binario elegidos, computamos la evolución de los discos de gas.
- Vemos que, cuanto menos separadas están las componentes estelares de un sistema, más rápido disipan los discos protoplanetarios, en acuerdo con los resultados de Rosotti et al. 2018.
- Para tasas de fotoevaporación de RX actualizadas (derecha) se observa que la apertura de un “gap” ocurre más lejos de la estrella central. Sólo vemos apertura de gap para el caso $R_t \sim 140$ ua.
- Se observó para discos extendidos que los tiempos de disipación son menores si se tiene en cuenta las tasas de fotoevaporación dadas por P19. En cambio, ahora, para discos más compactos los discos se disipan en menor tiempo si se consideran las tasas de fotoevaporación dadas por O12.

Resultados Preliminares:

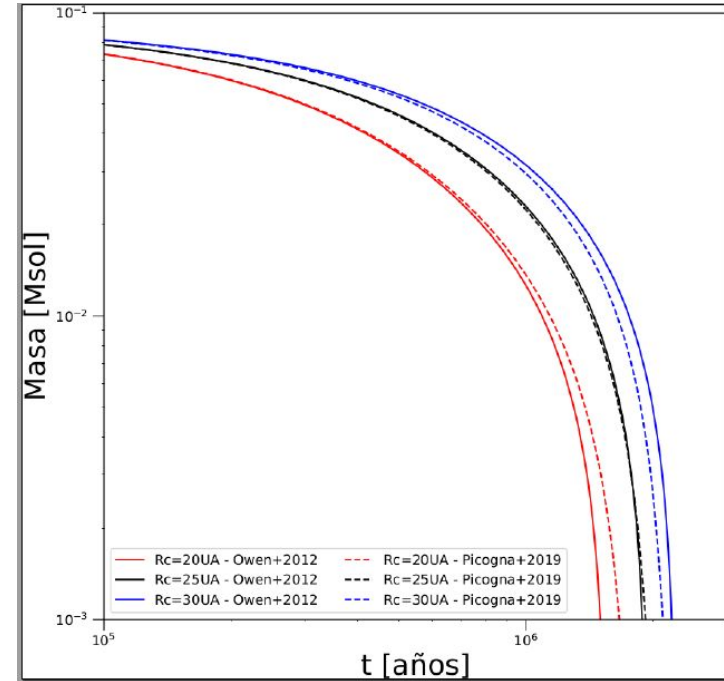
A partir de esto, se realizaron simulaciones a radios de truncamiento intermedios entre 13 y 140 ua, que nos permitieron determinar el tamaño de los discos que se disipan más rápido si tenemos en cuenta las prescripciones de P19 y cuales son los que se disipan más rápido si tenemos en cuenta las prescripciones de O12,

Tabla 1

R_c [ua]	a [ua]	$t_{dis,O}$ Ma	$t_{dis,P}$ Ma
140	424.2	3.8	2.7
30	90.0	2.2	2.1
25	75.75	1.88	1.9
20	60.6	1.4	1.6
13	39.4	0.9	1.2
5	15.15	0.24	0.33

$t_{dis,O}$: tiempos de disipación utilizando las tasas de fotoevaporación de O12.

$t_{dis,P}$: tiempos de disipación utilizando las tasas de fotoevaporación de P19.



Evolución temporal de la masa del disco de gas para radios de truncamiento 20, 25 y 30 ua.

Ideas finales (preliminares):

El cambio en la tendencia en las escalas de disipación favorece que discos en sistemas estelares compactos demoren más en disipar. A pesar de que estos aumentos en las edades de estos discos son pequeñas podrían eventualmente favorecer los procesos de formación planetaria.

Trabajo en progreso: Estamos realizando nuevas simulaciones, teniendo en cuenta:

- Diferentes masas iniciales para los discos.
- Explorar otros cocientes de masas q y separaciones estelares.
- Considerar otros valores para el parámetro de la viscosidad α
- Realizar una síntesis poblacional de discos protoplanetarios en sistemas estelares binarios.
- Intentar contrastar los resultados de nuestro modelo con las observaciones que haya de estos discos.