

Análisis de los parámetros en la evolución de discos de decreción viscosa en estrellas Be para la banda espectral L.

Fredy Alexander Orjuela López

Directora

Beatriz Eugenia Sabogal, Ph D.

Co-Director

Leandro Rocha Rimulo, Ph D.



Universidad de Los Andes
Grupo de Investigación de Astroestadística
Departamento de Física
Febrero 23 de 2021

Estrellas Be

- Secchi 1866 γ Cas y β Lyr
- Be \rightarrow B que presentan o presentaron líneas Balmer en emisión
- La eyección de material produce variabilidad estelar, y se conoce como fenómeno Be (Rivinius et al., 2003)

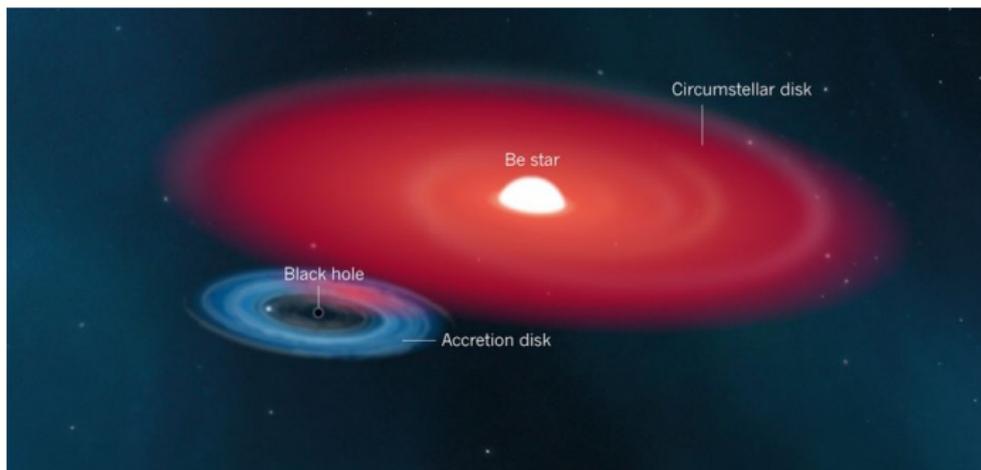


Fig. 1: Imagen representativa para un disco de acreción vs un disco de de acreción.

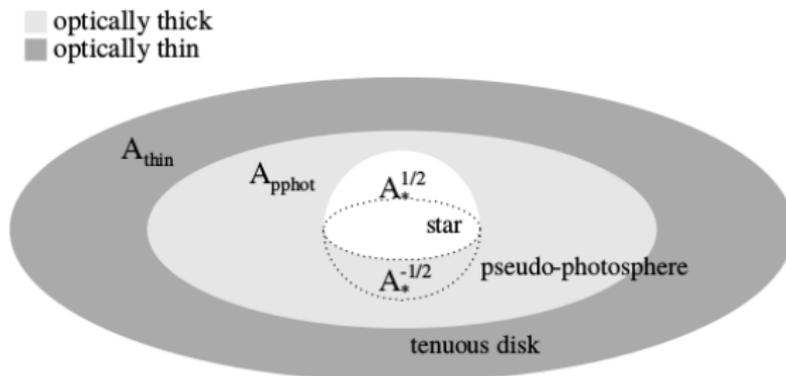


Fig. 2: Caso General del modelo de pseudo-fotósfera, tomado de (Vieira et al., 2015)

Estrellas Be

- ¿Nacen siendo estrellas B y se transforman a Be?
- ¿Cómo se forman los discos?
- ¿Cómo es el mecanismo de pérdida de masa?
- Viscous Decretion Disc (Lee et al., 1991)

HDUST

- Código que soluciona la ecuación de transferencia Radiativa
- Utiliza la técnica de Monte Carlo

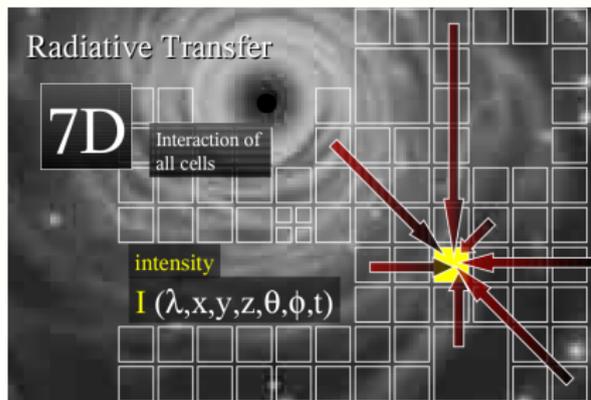


Fig. 3: Región de interacción Radiación-Materia

Ecuación de Transferencia Radiativa:

$$-\frac{1}{\kappa_{\lambda}\rho} \frac{dI_{\lambda}}{ds} = I_{\lambda} - S_{\lambda} \quad (1)$$

I_{λ} =Intensidad

S_{λ} =Función fuente

$$S_{\lambda} = B_{\lambda}(T) \quad \text{ETL}$$

$$S_{\lambda} \neq B_{\lambda}(T) \quad \text{NETL}$$

Parámetros

Tabla 1: Valores de parámetros utilizados para generar modelos en HDUST

Parámetros	Dominio
M	4.20, 4.80, 5.50, 6.40, 7.70, 8.60, 9.60, 10.80, 12.50 ...20.00 M_{\odot}
$1+0.5W^2$	1.10, 1.20, 1.30, 1.40, 1.45
Σ_0	0.00, 0.02, 0.05, 0.12, 0.28, 0.68, 1.65, 4.00 g cm^{-2}
n	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5
cos i	0.1, 0.2, ..., 1.0

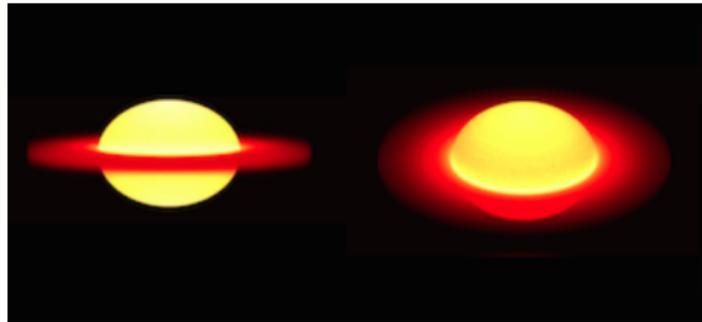


Fig. 4: Radio polar vs. Radio ecuatorial, tomado de Mota, (2019)

Modelo VDD

$$\rho(\varpi, z) = \rho_0 \left(\frac{\varpi}{R_\star} \right)^{-n} \exp \left(-\frac{z^2}{2H^2} \right) \quad (2)$$

$$\Sigma(\varpi) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\varpi, z) dz \quad (3)$$

Be Atlas

- Permutación de los diferentes valores de parámetros
- Cuadrícula de modelos generada por HDUST
- Almacenada en BeAtlas
- WISE - Flujos en las dos últimas bandas
- Gaia - Distancias - Magnitudes

Pregunta

- ¿Cómo analizar la cantidad de modelos almacenados en BeAtlas?
- Solución dada por la inferencia Bayesiana

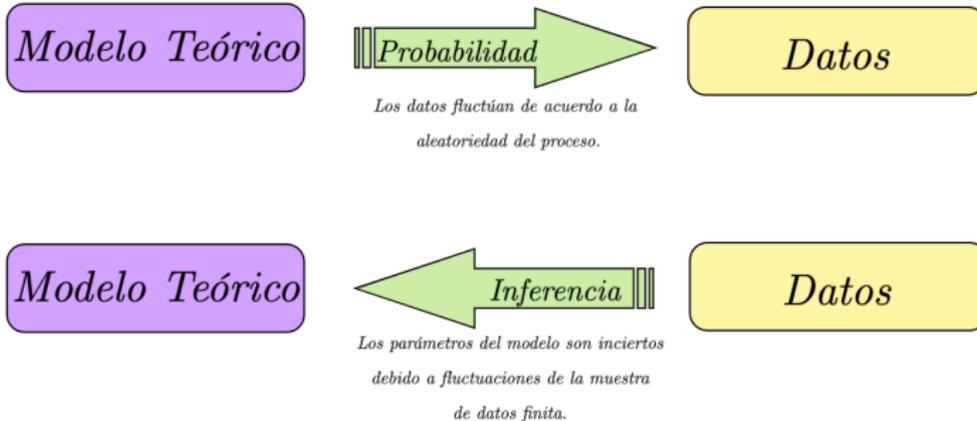


Fig. 5: Comparación entre probabilidad e inferencia.

Teorema de Bayes

$$P_{Posteriori} = \frac{\text{Verosimilitud} \times P_{Priori}}{\text{Evidencia}} \quad (4)$$

$$P(M, \Theta | D, I) = \frac{P(D | M, \Theta, I) P(M, \Theta | I)}{P(D | I)} \quad (5)$$

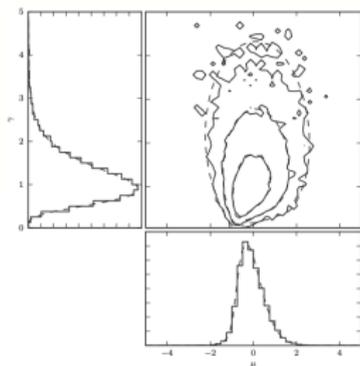


Fig. 6: Ejemplo de un diagrama triangular

EMCEE

- Código escrito en lenguaje Python
- Utiliza la técnica de Monte Carlo Markov Chain
- Distribuciones de densidad de Probabilidad y Correlaciones

Distribución de Probabilidad a Priori

Se define:

$$\pi(\theta|\mathcal{H}) \propto M^{-2.3} f_{\text{Be}}(M) \exp\left(-\frac{(W - \langle W \rangle)^2}{2\sigma_W^2}\right) \Theta(\theta|\mathcal{H}) \quad (6)$$

donde θ es el parámetro y \mathcal{H} los modelos, el espacio de parámetros $\Theta(\theta|\mathcal{H})$ está dado por:

$$\Theta(\theta | \mathcal{H}) = \begin{cases} 1, & \text{si} \begin{cases} 4.2M_{\odot} \leq M \leq 20M_{\odot} \\ 0 \leq W \leq 1 \\ 0 \leq \Sigma_0 \leq 4 \text{ g cm}^{-2} \\ 2 \leq n \leq 4.5 \\ 0 \leq \cos i \leq 1 \end{cases} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (7)$$

Función de Verosimilitud

Se expresa así:

$$L(\mathbf{a}|\boldsymbol{\theta}) = \prod_{d=1}^D (2\pi\sigma_d^2)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{(a_d - X_d(\boldsymbol{\theta}))^2}{2\sigma_d^2}\right) \quad (8)$$

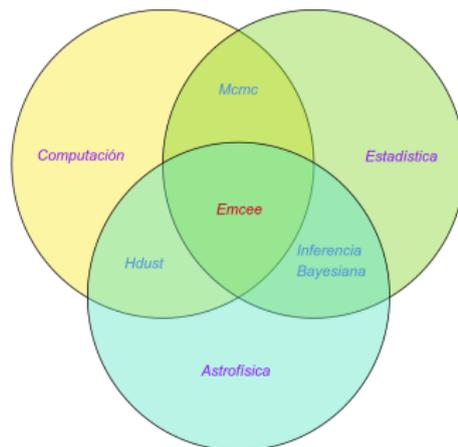


Fig. 7: Herramientas de Análisis

IRAF

Software para reducir, extraer, calibrar y analizar espectros.

Objeto	Identificación HD
10 Cas	HD 144
<i>o</i> Cas	HD 4180
γ Cas	HD 5394
ϕ And	HD 6811
V777 Cas	HD 11606
Bk Cam	HD 20336
17 Tau	HD 23302
23 Tau	HD 23480
25 Tau	HD 23630
28 Tau	HD 23862
12 Vul	HD 187811
28 Cyg	HD 191610
V2113Cyg	HD 193009
V2119 Cyg	HD 194335
V2120 Cyg	HD 194883
V2123 Cyg	HD 195907
V568 Cyg	HD 197419
60 Cyg	HD 200310
<i>v</i> Cyg	HD 202904
V2162 Cyg	HD 204722
16 Peg	HD 208057
25 Peg	HD 210129
<i>o</i> And	HD 217675
β Psc	HD 217891

Tareas

- Medición de Flujos para las líneas $Br\alpha$, $Pf\gamma$ y Humphreys 14.
- Técnica Deblending
- Clasificación por grupos de Mennickent et al. (2009)
- Diagrama de Lenorzer Observacional

Fig. 8: Muestra de Estrellas

Espectro 10 Cas

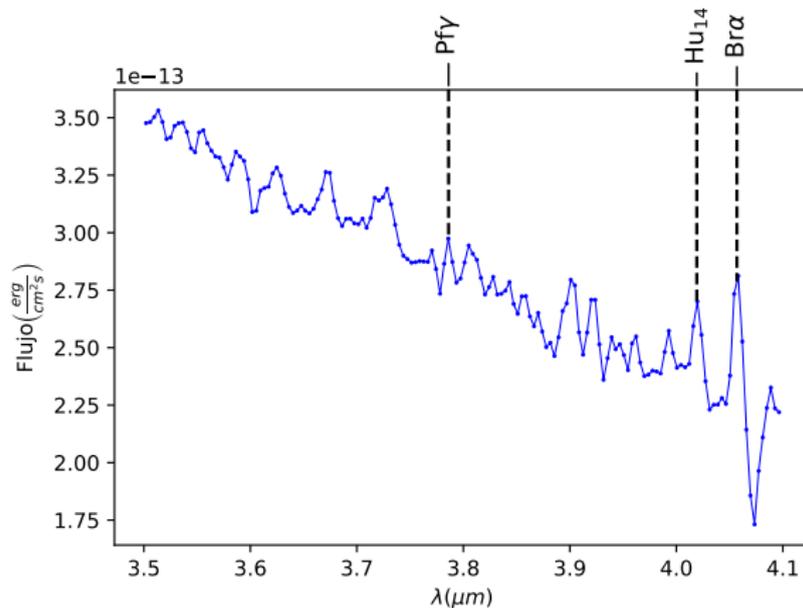
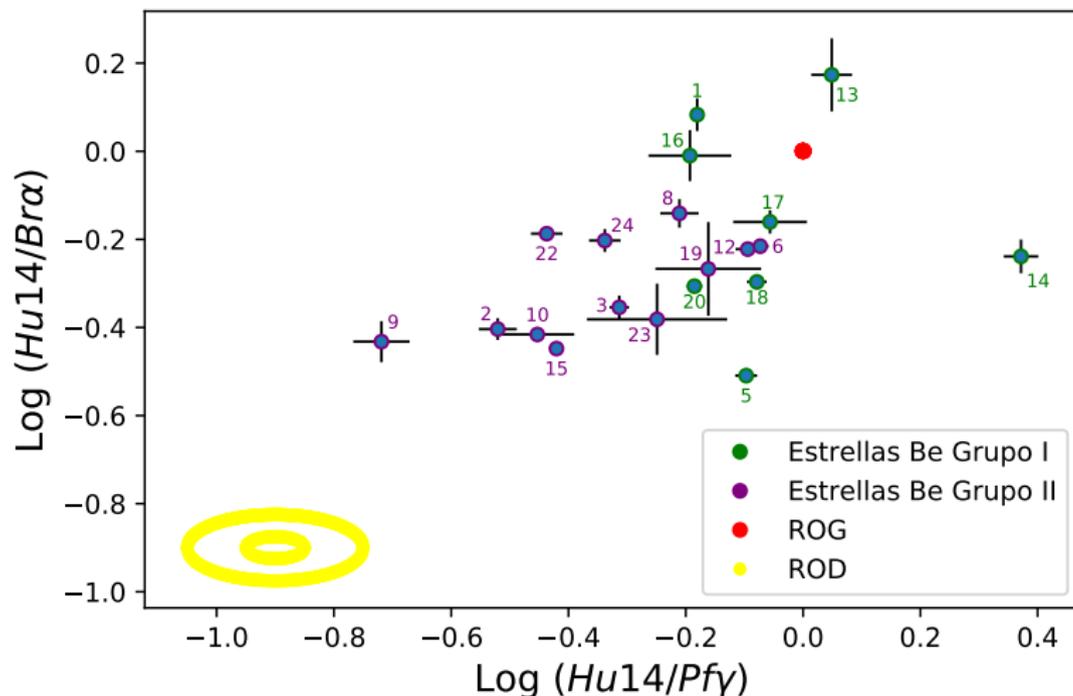
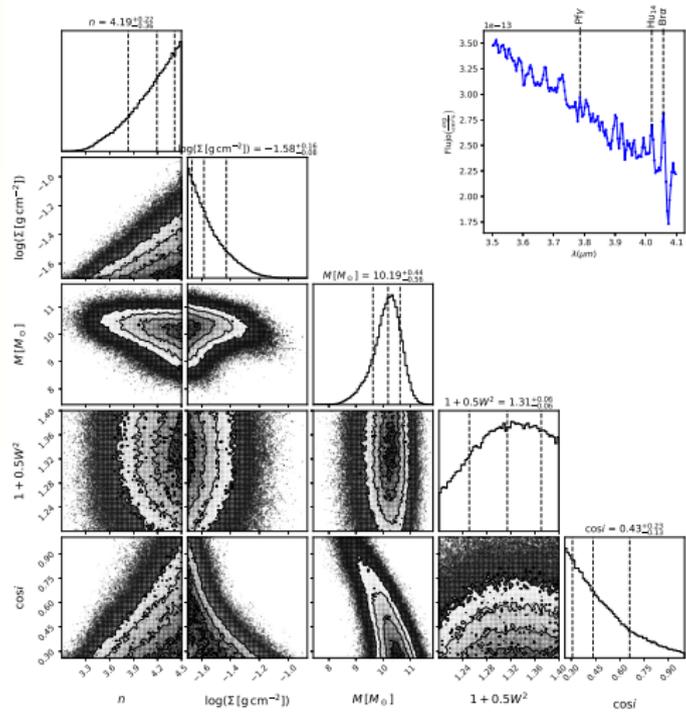


Fig. 9: Espectro calibrado en longitud de onda y flujo para la estrella 10 Cas.

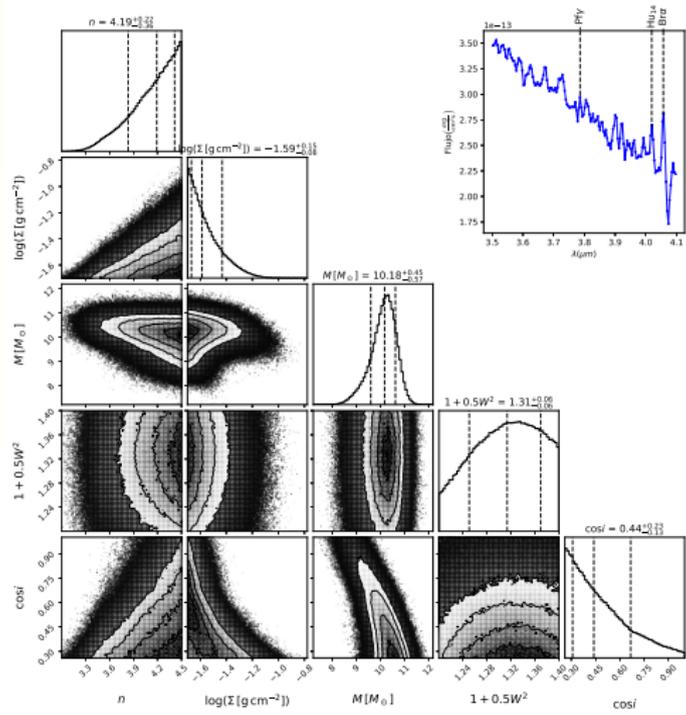
Diagrama de Lenzorzer



10 Cas - Grupo I



10 Cas más caminadores - Grupo I



Convergencia 10 cas - Grupo I

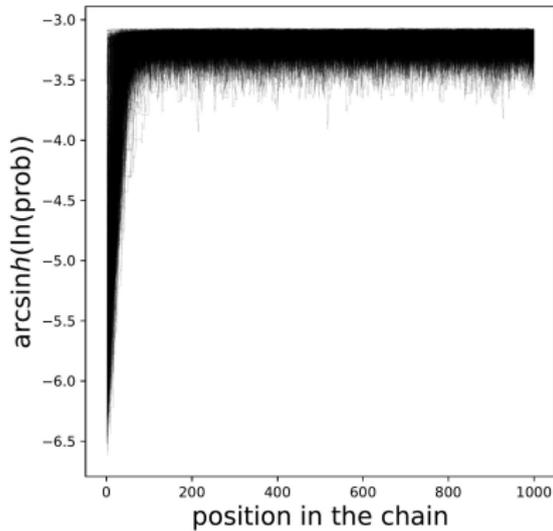


Fig. 11: Convergencia con 1000 caminadores

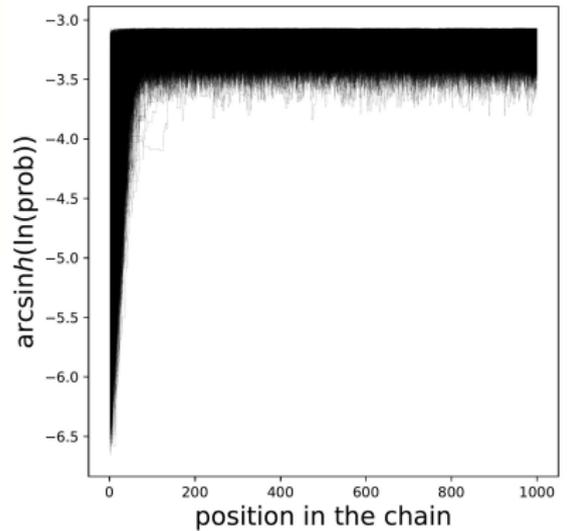
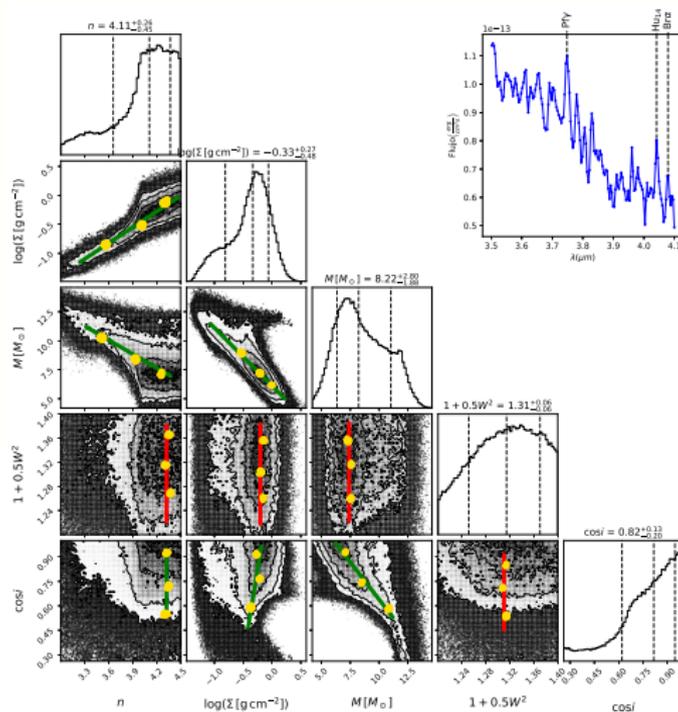
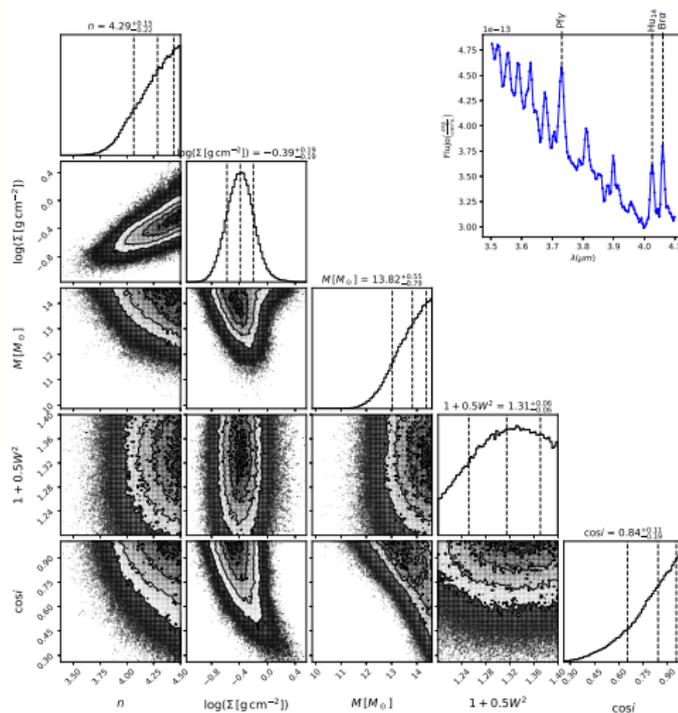


Fig. 12: Convergencia con 10000 caminadores

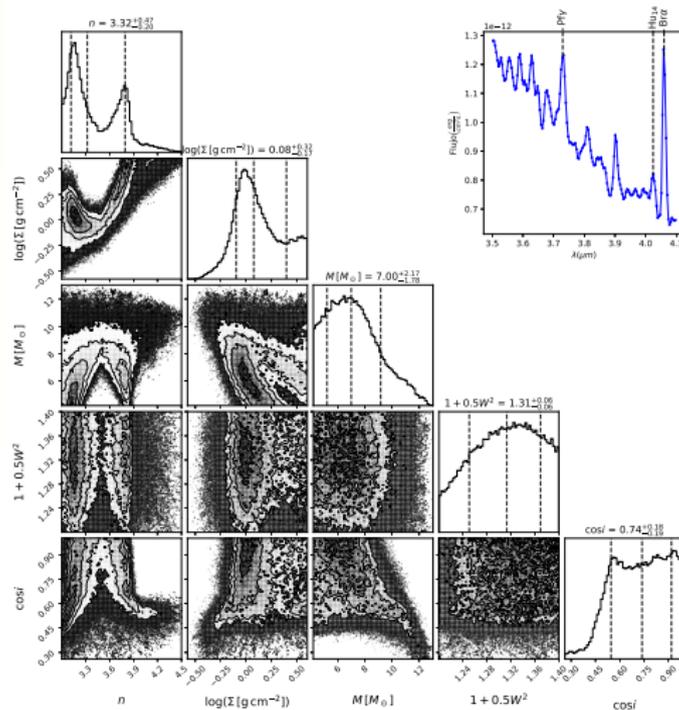
Correlaciones V2119 Cyg - Grupo I



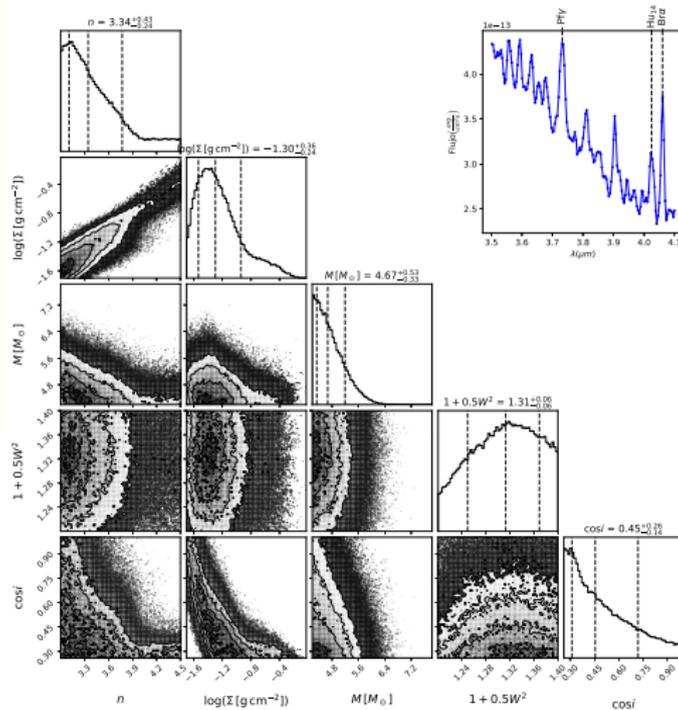
60 Cyg - Grupo I



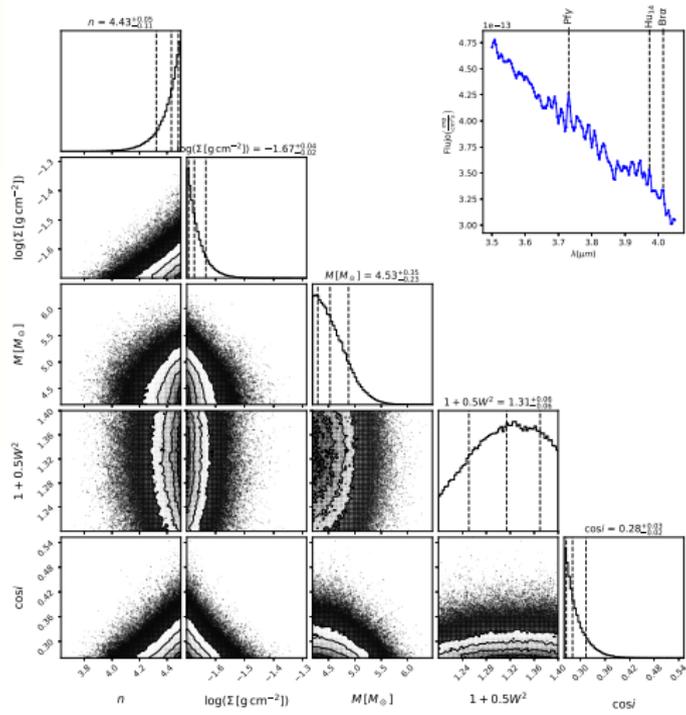
o Cas-Grupo II



28 Cyg - Grupo II



16 Peg - Grupo III



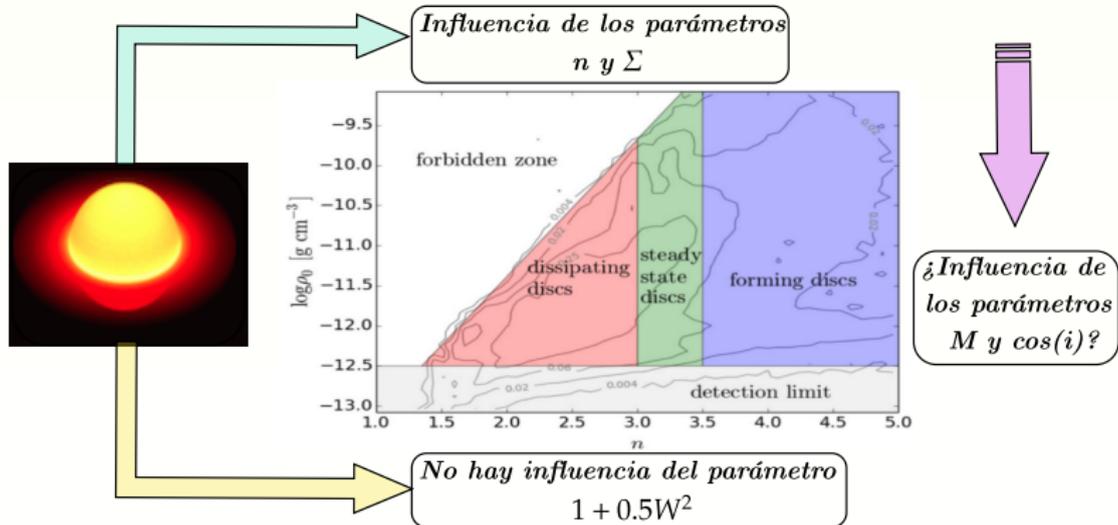
Comparación

Parámetros

Tabla 2: Valores del parámetro n para algunas estrellas

HD	n - (Vieira et al., 2017)	n - Orjuela (2020)
5394	-	$3.24^{+0.17}_{-0.25}$
6811	-	$4.07^{+0.45}_{-0.31}$
11606	$2.3^{+0.2}_{-0.1}$	$3.28^{+0.16}_{-0.47}$
20336	$3.3^{+0.2}_{-0.3}$	$3.59^{+0.28}_{-0.52}$
23480	$2.0^{+0.1}_{-0.1}$	$3.52^{+0.02}_{-0.04}$
23630	$3.2^{+0.3}_{-0.2}$	-
187811	$5.0^{+1.0}_{-1.0}$	$4.20^{+0.35}_{-0.22}$
191610	$3.2^{+0.2}_{-0.2}$	$3.34^{+0.24}_{-0.41}$
194335	$3.3^{+0.1}_{-0.2}$	$4.10^{+0.45}_{-0.27}$
217891	$2.4^{+0.1}_{-0.1}$	$3.65^{+0.33}_{-0.57}$

Diagrama



Conclusiones

- Se realizó la medición de flujos de las 24 estrellas de tipo Be. Posteriormente, se realizó el diagrama de Lenorzer Observacional.
- Se obtuvieron las distribuciones de probabilidad para los parámetros de las estrellas modeladas.
- La correlación más fuerte del grupo de estrellas, corresponde al parámetro n y la densidad superficial Σ . En este caso, un valor grande del parámetro n debe correlacionarse con un valor grande de Σ , tal que, la medición, por ejemplo, de un flujo corresponda a un disco superficialmente denso, posiblemente habitando la región ópticamente gruesa del Diagrama de Lenorzer.
- La oblatividad es un parámetro que no influye en los modelos de la muestra de estrellas dado que la información brindada por la función a Posteriori es nula comparada con la función a Priori.

Trabajo Futuro

- Instalación de HDUST en la Universidad de los Andes para investigaciones Posteriores.
- Realizar mediciones a la muestra de estrellas con espectros que posean una mejor resolución, tal que permita una mejor clasificación propuesta por Menickent.
- En este trabajo no se realizó una medición temporal de la muestra de estrellas, en principio, se puede establecer el diagrama de Vieira et al., (2017) para clasificar los discos en las regiones mencionadas anteriormente.
- La simulación de los diagramas de Lenorzer, mediante la herramienta propuesta en este trabajo, permitiría una comparación directa con la modelación temporal de la muestra de estrellas.

Referencias I

- C. De Jager & H. Nieuwenhuijzen. *Astronomy & Astrophysics*, **177**, p. 217, (1987).
- P. Kroupa. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **322**, p. 231, (2001).
- A. Lenorzer, A. De Koter, & L. Waters. *Astronomy & Astrophysics*, **368**:1, p. L-5, (2002).
- R.E. Mennickent, B. Sabogal, A. Granada & L. Cidale. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **21**:876, p. 125, (2009).
- B. C. Mota. "BeAtlas: A grid of synthetic spectra for Be stars." *PhDT* (2019).
- J.M. Porter & T. Rivinius. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **115**:812, p. 1153, (2009).
- Th. Rivinius, S. Stefl & D. Baade. *Astronomy & Astrophysics*, **459**:1, p. 137, (2006).

Referencias II

R.G. Vieira, A.C. Carciofi & J.E. Bjorkman. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **454**:2, p. 2107, (2015).

R.G. Vieira, A.C. Carciofi, J.E. Bjorkman, Th. Rivinius, T. Baade & L.R. Rimulo. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **464**:3, p. 2071, (2017).