

# Método del cúmulo móvil y su aplicación a las Híades

Nicolas David Bojacá

Universidad de los Andes

13 de abril de 2021

Las Híades es el cúmulo abierto más cercano al sol ubicado a una distancia aproximada de 47 pc (1). Y es de gran interés su estudio debido a que es un buen indicador para medir distancias galácticas y extragalácticas (2).



Figura: Imagen de las Híades tomada de (3).

También se debe tener en cuenta la ventaja de estudiar cúmulos para entender la evolución y estructura estelar (4).

# Método del cúmulo Móvil

Este método permite determinar la distancia del cúmulo partiendo del principio que este se mueve hacia un punto específico, conocido como el punto de convergencia.

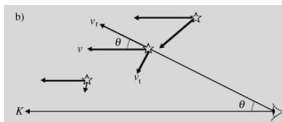


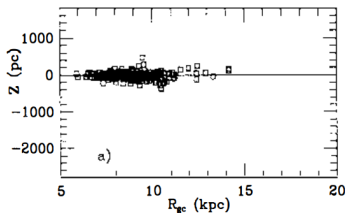
Figura: Ejemplo del método del cúmulo móvil, imagen tomada de (5).

De tal forma que la distancia al cúmulo observado puede ser obtenida mediante la siguiente expresión:

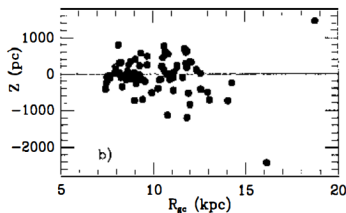
$$d = \frac{V_r \tan(\theta)}{4,74047\mu}; \quad V_t = \mu d \quad (1)$$

# Condiciones para aplicar el método

Dispersión respecto al plano de la galaxia. Puesto que los cúmulos más viejos tienen velocidades de dispersión de aproximadamente  $28 \text{ km s}^{-1}$ ; mientras que, los más jóvenes se encuentran en un promedio de  $10 \text{ km s}^{-1}$



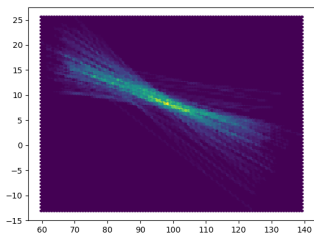
**Figura:** Gráfica de altura respecto al plano de la galaxia contra distancia galactocéntrica para cúmulos con la edad igual o menor a la de las Híades. Tomado de (6).



**Figura:** Gráfica de altura respecto al plano de la galaxia contra distancia galactocéntrica para cúmulos con una edad más grande al cúmulo de las Híades. Tomado de (6).

# Determinación del punto de convergencia

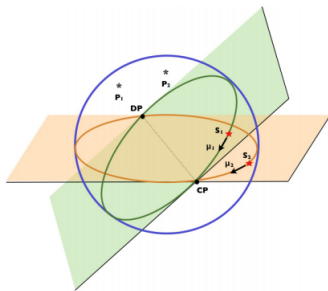
Para encontrar el punto de convergencia se tomaron los datos de movimientos propios y coordenadas y se proyectó la posición que tendría cada uno de los miembros del cúmulo en dos millones de años, se trazaron las trayectorias que recorrerían y se encontró el punto con mayor densidad ( $\alpha = 98,663^\circ$ ,  $\delta = 6,551^\circ$ ).



**Figura:** Mapa de densidades de las trayectorias trazadas por los miembros del cúmulo durante 2'000.000 de años.

## Segundo método de determinación del punto de convergencia

Últimamente se han realizado mejoras para la determinación del punto de convergencia, un ejemplo de estos es el que se lleva a cabo por (7), en donde se incluyen los efectos de la velocidad de dispersión.



**Figura:** Método para determinar el punto de convergencia cuyo origen se dio por (8)

# CP search method (CPSM)

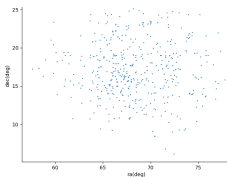
El principio de asumir que las fuentes de luz se mueven en una esfera viene de (8), en donde se determinó que el polo de cada estrella es normal al plano que contiene el movimiento y el punto de convergencia. Las coordenadas de ese polo están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\alpha^P &= \arctan \left( \frac{-\mu_\alpha \cos\delta \sin\delta \sin\alpha - \mu_\delta \cos\alpha}{-\mu_\alpha \cos\delta \sin\delta \cos\alpha + \mu_\delta \sin\alpha} \right) \\ \delta^P &= \arctan \left( \frac{\mu_\alpha \cos^2\delta}{\sqrt{(\mu_\alpha \cos\delta \sin\delta)^2 + \mu_\delta^2}} \right)\end{aligned}\quad (2)$$

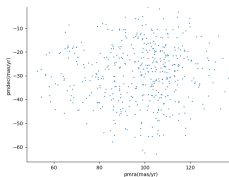
De tal forma que se busca minimizar el error ortogonal, cuya expresión es:

$$k = \sin\delta_{cp} \sin\delta^P + \cos\delta_{cp} \cos\delta^P \cos(\alpha_{cp} - \alpha^P) \quad (3)$$

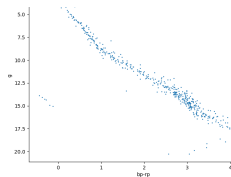
Miembros del cúmulo de las Híades 479 estrellas, y con datos de velocidad radial 154. A continuación, se encuentran las gráficas de coordenadas, movimientos propios y magnitud-color.



**Figura:** Gráfica de posiciones de los miembros.



**Figura:** Gráfica de movimientos propios de los miembros.



**Figura:** Diagrama magnitud-color de los miembros.



# Resultados en 5d (edr3)

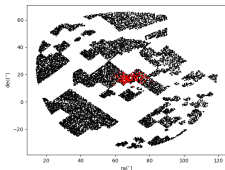


Figura: Gráfica de posiciones de los miembros.

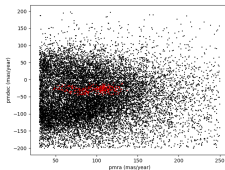


Figura: Gráfica de movimientos propios de los miembros.

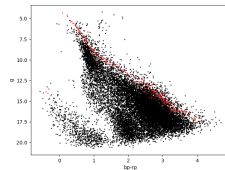
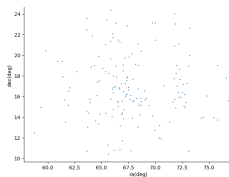
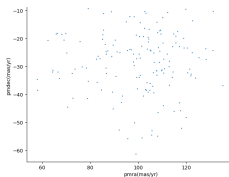


Figura: Diagrama magnitud-color de los miembros.

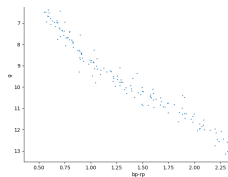
Para esta parte se toman únicamente los datos que cuentan con velocidades radiales antes de llevar a cabo DBSCAN. Para este caso, el número de estrellas encontradas pertenecientes al cúmulo es de 159.



**Figura:** Gráfica de posiciones de los miembros.



**Figura:** Gráfica de movimientos propios de los miembros.



**Figura:** Diagrama magnitud-color de los miembros.

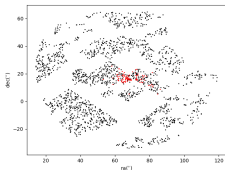


Figura: Gráfica de posiciones de los miembros.

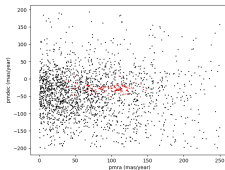


Figura: Gráfica de movimientos propios de los miembros.

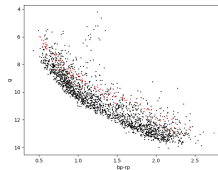


Figura: Diagrama magnitud-color de los miembros.

# Determinación del punto de convergencia

A continuación se muestran los datos calculados para encontrar la distancia del cúmulo para los tres casos: 5d, 6d, y los miembros en común.

	5d	6d	Miembros en común
$V_r(km/s)$	39,9214	39,9518	39,9214
$\mu(as/yr)$	0,1063	0,1065	0,1071
$\tan(\theta)$	0,5515	0,5519	0,5516
$d_{mc}(pc)$	48,7220	48,7089	48,3734
$d_{\pi}(pc)$	47,8159	47,7963	47,7932

**Cuadro:** Tabla con los resultados de distancias calculadas mediante el método de cúmulo móvil y el promedio del inverso de los paralajes

Los resultados de distancia pueden ser comparados con los que se reportan de:  $(46,75 \pm 0,31) pc$  en (1) y  $(46,45 \pm 0,50) pc$  en (9)

- Recalcular la distancia del cúmulo de las Híades mediante el método del cúmulo móvil con los datos de Gaia EDR3.
- Calcular la distancia de un cúmulo abierto usando a las Híades como calibrador. Para realizar esto, previamente se debe haber escogido el cúmulo con su respectivo diagrama magnitud color y ajustar a este y al de las Híades la secuencia principal de edad cero (ZAMS).

- [1] M. A. C. Perryman, A.G.A. Brown, Y. Lebreton, A. Gomez, C. Turon, G. Cayrel de Strobel, J. C. Mermilliod, N. Robichon, J. Kovalevsky, and F. Crifo. The Hyades: distance, structure, dynamics, and age. , 331:81–120, March 1998.
- [2] W. F. van Altena. The distance to the hyades cluster. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 86:217, apr 1974.
- [3] Aug 2020.
- [4] Stella Reino, Jos de Bruijne, Eleonora Zari, Francesca d'Antona, and Paolo Ventura. A gaia study of the hyades open cluster. *Monthly notices of the Royal Astronomical Society.*, 477(3):3197–3216, 2018.
- [5] Hannu Karttunen, Kroger Peka, Ojja Heikki, Poutanen Markku, and Donner Johan Karl. *Fundamental astronomy*. Springer, 2007.
- [6] E. D. Friel. The old open clusters of the milky way. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 33(1):381–414, 1995.
- [7] Galli, P. A. B., Teixeira, R., Ducourant, C., and et al. A new method for calculating the convergent point of a moving group. *A&A*, 538:A23, 2012.
- [8] Abad, C., Vieira, K., Bongiovanni, A., Romero, L., and Vicente, B. An extension of herschel's method for dense and extensive catalogues - application to the determination of solar motion. *A&A*, 397(1):345–351, 2003.
- [9] Floor van Leeuwen. *Hipparcos, the new reduction of the raw data*. Springer Verlag, 2007.