

Formación estelar en cúmulos de alta y baja masa: explorando las condiciones iniciales y el *feedback* en protoestrellas y sus discos

Autora: Mara Elizabeth Pelayo Baldárrago

Tesis doctoral dirigida por:

Aurora Sicilia Aguilar

Centro: Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 30 de marzo de 2023

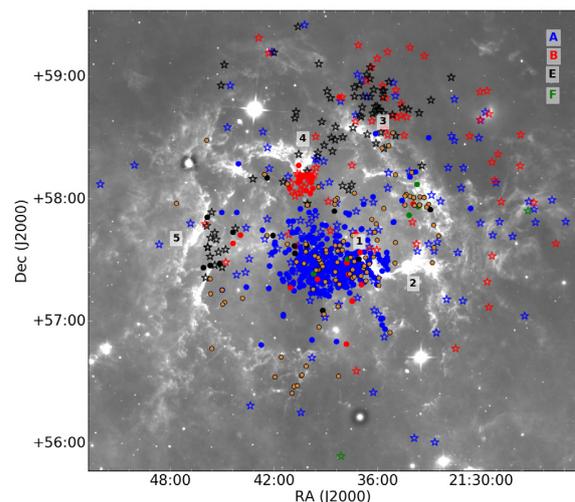
Dentro de los estudios de formación estelar en cúmulos de alta y baja masa, se cree que la huella de las condiciones iniciales tiene un efecto directo en la eficiencia de formación estelar (SFE, p. ej., Rohde et al., 2021), en la función inicial de masa (IMF, Hsu et al., 2013) y en las propiedades de los discos protoplanetarios y su posterior evolución (e.g., Fang et al., 2009).

En mi trabajo de tesis, estudié el impacto de las condiciones iniciales en los procesos de formación de las estrellas y sus discos en diferentes entornos, utilizando dos jóvenes regiones de formación estelar como regiones referentes: una región HII con formación estelar de alta masa, IC1396, y el cúmulo del Coronet, el cual es una región de formación estelar sin estrellas masivas pero con una alta densidad estelar. Esta tesis presenta un estudio global y sistemático de ambas regiones en relación con los procesos de formación estrella-disco. Realicé la caracterización observacional de las interacciones entre las estrellas y el entorno del cúmulo, la distribución espacial, la edad y masa de los miembros, la fracción de discos, la estructura de velocidad, y exploré los efectos del *feedback* y la densidad estelar para obtener un panorama general de la historia de formación de ambas regiones. Combiné varias técnicas y observaciones multilongitud de onda y multitransmisores, incluyendo imágenes en el óptico y el infrarrojo cercano junto con mapas de *Herschel* y *Spitzer*, espectros ópticos, datos milimétricos en el continuo y líneas moleculares y datos de *Gaia*. Esto me permitió estudiar las dos regiones a diferentes profundidades y escalas.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar la estructura y propiedades de ambas regiones y sus miembros, así como las condiciones iniciales que afectan el proceso de formación estrella-disco. La historia de formación de la región IC1396 es compleja. Los datos de *Gaia* EDR3 confirman una distancia de 925 pc. IC1396 está compuesta de cuatro subcúmulos y una población extendida. Los cuatro subcúmulos son significativamente diferentes en movimiento propio, pero no en paralaje. También encontré diferencias entre las edades de los subcúmulos y los miembros de estos no están distribuidos espacialmente de manera uniforme por la región. Los miembros del subcúmulo A están concentrados en el centro de la región y los miembros de los subcúmulos B y E distribuidos por el borde de la región, cerca de las principales nubes de borde brillante (ver figura). Asimismo, encontré que la región se está expandiendo de forma global, señal de que no está gravitacionalmente ligada. La combinación de la cinemática, la edad y las diferencias de estado evolutivo en los grupos de fuentes dentro de la misma nube indica que la región ha sufrido múltiples episodios de formación estelar a través del tiempo,

probablemente desencadenada por diferentes mecanismos. Esta tesis también demostró la importancia de los datos de *Gaia* al completar los cartografiados de cúmulos, incluyendo estrellas de masa intermedia.

La historia de formación del cúmulo del Coronet no es tan dramática. Los datos de *Gaia* DR3 confirman una distancia de 154 pc. Aunque nuestro estudio se restringe al pequeño cúmulo en la región R CrA, encontramos que el *feedback* de las estrellas de baja masa e intermedia está afectando a la nube y a las condiciones iniciales de la formación estelar posterior debido a su alta densidad estelar. Encontramos que el *feedback* estelar por estrellas de masa baja e intermedia ($2-3 M_{\odot}$) tiene efectos disruptivos en escalas de unos pocos miles de unidades astronómicas. Los mapas de temperatura y densidad indican que estos efectos son suficientes como para evitar la formación estelar en regiones de alta densidad cercanas a las estrellas de masa intermedia. Por el contrario, regiones de alta densidad alejadas de estrellas de masa intermedia muestran señales de colapso, con la consecuente formación estelar. La cinemática de los miembros revela que no hay diferencias significativas entre los distintos miembros del cúmulo, lo cual indica que todo es parte del mismo grupo o filamento. La dispersión en las velocidades en el plano del cielo (movimientos propios) y velocidades radiales es también consistente. Finalmente, la cinemática del gas indica que este no está gravitacionalmente ligado en la parte central del cúmulo. Estos resultados, junto con nuestras observaciones del *feedback* estelar, sugieren que las estrellas de masa intermedia podrían estar dispersando la nube y deteniendo la formación estelar, y también podrían explicar la baja masa y el estadio evolutivo de los discos protoplanetarios observados en este cúmulo.



Distribución espacial de los miembros conocidos (círculos) y nuevos (pentágonos) de la región IC1396. La imagen del fondo es un mosaico de $\sim 4^{\circ} \times \sim 4^{\circ}$ de la región de IC1396, a partir de imágenes de WISE ($22.2 \mu\text{m}$). Los colores representan los cuatro subcúmulos (A, B, E, F) como indica la leyenda. Los círculos naranjas señalan los miembros conocidos que no pertenecen a ningún subcúmulo. El tamaño de los símbolos representa la edad, considerando un rango entre 0,1 a 20 Myr, y siendo los más jóvenes los símbolos más grandes. Los números en negro indican las principales nubes de borde brillante (BRCs), 1=IC1396 A, 2=IC1396 B, 3=IC1396 D, 4=IC1396 N, 5=IC1396 G (Pelayo-Baldárrago et al. 2023)..