



Caracterización dinámica del ambiente de formación de cúmulos abiertos jóvenes ricos en estrellas Be

Anahí Granada^{1,2}, Nicolás P. Maffione^{1,2}, Mariana Orellana^{1,2} & Facundo A. Gómez³

1. Universidad Nacional de Río Negro, Sede Andina, CITECCA, Bariloche, Argentina. 2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. 3. Departamento de Astronomía, Universidad de La Serena, Chile

Pregunta que proponemos responder

Motivación

La rotación influye fuertemente en la formación, estructura y evolución de las estrellas, en particular, para aquellas que rotan rápidamente, como es el caso de las estrellas Be. Se trata del grupo de estrellas de secuencia principal que rotan más cerca de su velocidad crítica, y el origen de tal rotación es aún materia de acalorados debates.

En algunos cúmulos abiertos (15 – 40 Myr) la fracción de estrellas Be puede representar el 50% de las B tempranas, mientras que en otros de edades similares, no abundan Be (e.g. Mathew et al. 2008).

→ *Nos preguntamos si las regiones de formación de los cúmulos jóvenes con/sin Be, pueden tener alguna característica dinámica que sugiera una relación entre caoticidad/regularidad de su órbita en la galaxia y la presencia de estrellas Be.*

Metodología de Trabajo

- Calculamos dos indicadores de caos (FLI y MEGNO, Carpintero et al. 2021 y 2022) para caracterizar dinámicamente la región donde se encuentra cada cúmulo abierto galáctico de la muestra de alta calidad (HQS, *High Quality Sample*) de Tarricq et al. (2021), para los cuales se han medido posiciones y velocidades con gran precisión.
- Estudiamos un subgrupo de 174 cúmulos abiertos con edades inferiores a los 300 millones de años. Dada su relativa juventud, proponemos que los indicadores de caos son representativos también de sus regiones de formación.
- En particular, exploramos las regiones de formación de los cúmulos de la muestra con estrellas Be.

Indicador de Caos MEGNO para los 174 cúmulos jóvenes.

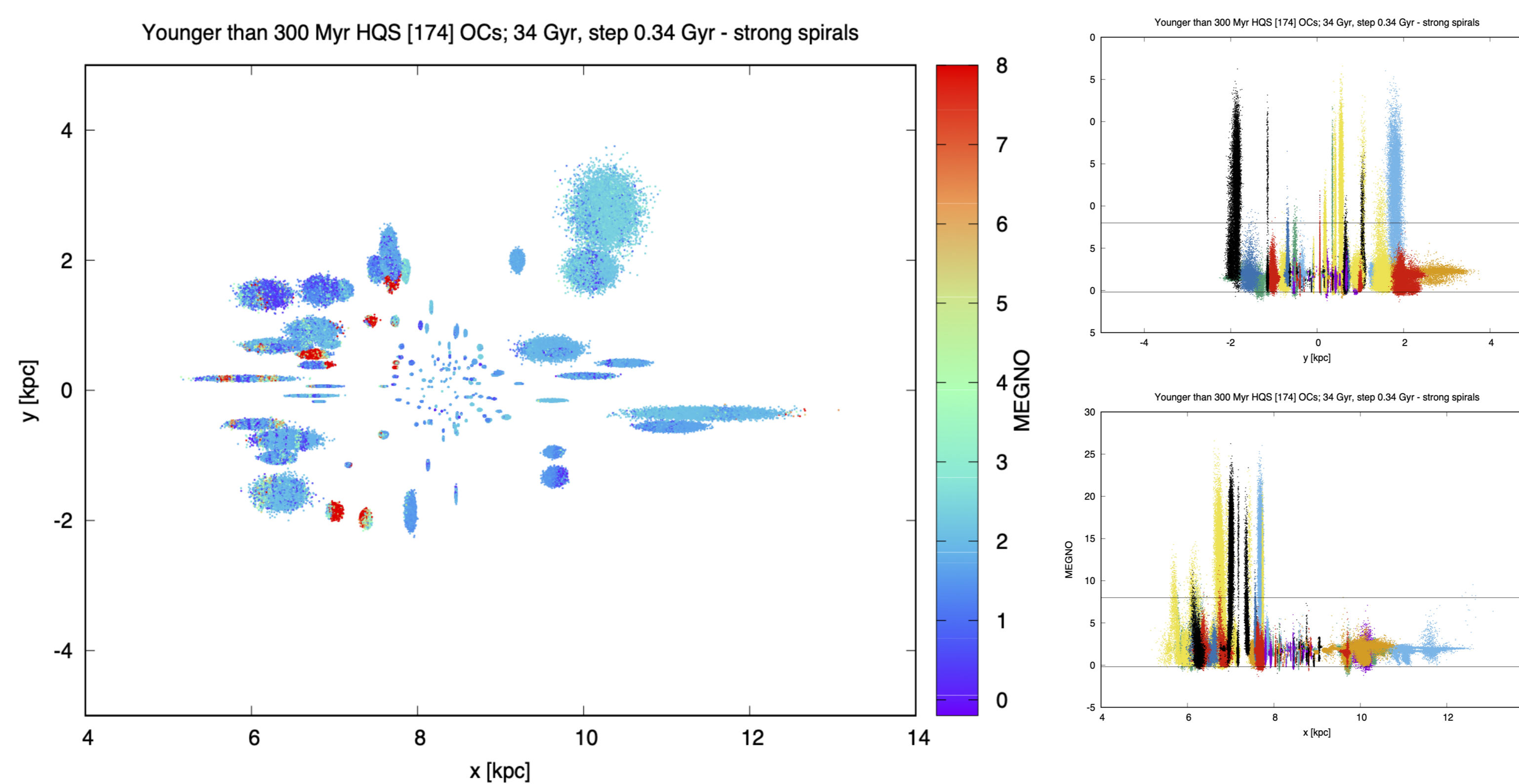
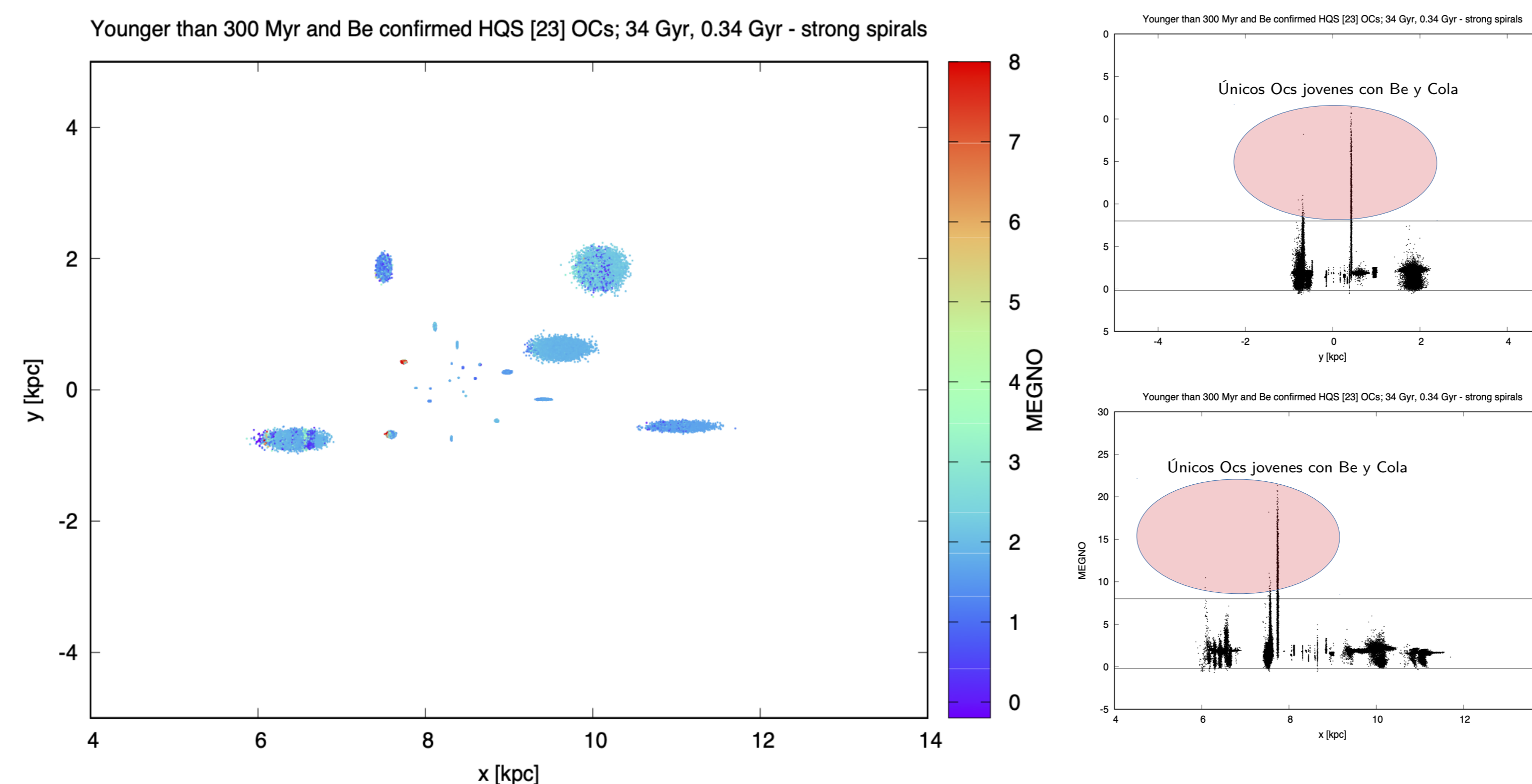


Figura 2 : Indicador de Caos MEGNO para los 23 cúmulos jóvenes que tienen estrellas Be catalogadas.



Experimentos

- Para cada elemento de la HQS, construimos una muestra de puntos (entre 10 y 10000) en espacio de fases con distribución Gaussiana (tamaño de muestra relacionado a dispersión observada en cada variable.)
- El número de partículas en cada cúmulo supone una densidad estelar similar a las cercanías del sol.
- Integramos la evolución temporal de la muestra con Hydra (Carpintero et al. 2022), considerando un potencial de 7 componentes que representa el de la Vía Láctea.
- Se calculan los indicadores de caos FLI/MEGNO a los 0.34, 3.4 y 34 Gyr para diferentes grupos : la HQS, para cúmulos con edades < 300Myr, otros con edades >1Gyr, cúmulos que albergan Be, cúmulos que tienen cola (asimetrías 2D en el halo de los cumulos, Tarricq et al. 2022), y una muestra de cúmulos jóvenes con cola.
- Todos los cálculos se hicieron con LP-VIcode (Carpintero et al. 2014).

Resultados para la muestra completa

- Estabilidad frente al indicador de caos: A 0.34 y 3.4 Gyr pequeñas diferencias, a 34 Gyr (convergencia total) ambos indicadores arrojan resultados idénticos.
- Estabilidad temporal indicadores: A 34 Gyr se observan los mismos patrones que a 3.4Gyr, mostrando que a 3.4 Gyr los indicadores han logrado convergencia (caracterización de órbita completa). A 0.34 Gyr aún es un transitorio de los indicadores.
- Estabilidad frente a 'fuerza' de brazos espirales: no se observa variación significativa de la caracterización de las órbitas con diferentes fuerzas, duplicando y multiplicando por 3 el valor de referencia.

Es evidente el impacto de alguna componente galáctica en una banda interna al círculo solar, entre los 6.5 y 8 kpc. Allí ambos indicadores divergen.

Resultados preliminares para cúmulos jóvenes, con Be

- Los cúmulos viejos están más lejos de la posición nominal del Sol que los jóvenes, en promedio, lo cual es esperable. Sin embargo, no hay evidencia que indique una caracterización distinta de ambos en cuanto a su dinámica (en general tienen órbitas regulares).
 - Características distintivas de regiones de cúmulos jóvenes con Be: en general regulares, salvo pocos caracterizados como caóticos. **Llamativo: los poco caóticos se identifican con los que tienen cola (Figura 2). Resulta llamativo que en la HQS escasean los cumulos con Be con coordenada Y<1kpc. Por ahora, no hemos hallado otras características remarcables.**
 - Características distintivas de regiones de cúmulos con cola: bien concentrados hacia la posición del Sol (sesgo observacional), pocos tienen caracterización caótica, en general son regulares.
 - Características distintivas de regiones de cúmulos jóvenes con Be y con cola : los 3 (baja estadística) son caóticos, a diferencia del patrón general que muestran los que tienen cola, o que tienen Be confirmadas.

Possibilidades a futuro : la investigación de las características dinámicas puede replicarse para estudiar otro tipo de poblaciones estelares.

REFERENCIAS

- Carpintero, D. D. ; Maffione, N.P. ; Darriba, L. 2014, Astronomy and Computing, Vol. 5, p. 19-27.
 Carpintero, D. D. ; Maffione, N.P. ; Gómez, F. A. 2022, Astronomy and Computing, in press.
 Mathew, B., Subramaniam, A., Bhatt, B. Ch. 2008, MNRAS, Vol. 388, Issue 4, pp. 1879-1888.
 Tarricq, Y.; Soubiran, C.; Casamiquela, L.et al. 2021, Astronomy & Astrophysics, Vol. 647, id.A19, 15 pp.
 Tarricq, Y.; Soubiran, C.; Casamiquela, L.et al. 2022, Astronomy & Astrophysics, Vol. 659, id.A59, 13 pp.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo cuenta con el apoyo financiero del proyecto UNRN 2020 40-B-890.