

## Resumen de la tesis doctoral de Julio A. Carballo Bello

*Globular clusters as tracers of the hierarchical formation of the Milky Way*

En el escenario de formación de galaxias más aceptado actualmente, basado en la materia oscura fría [1, 2], se espera que parte de los cúmulos globulares galácticos se encuentren rodeados por los restos de sus galaxias progenitoras, donde se formaron antes de ser acretaados por la Vía Láctea [3, 4, 5]. El objetivo principal de esta tesis doctoral fue la identificación y localización de estas corrientes de marea en el entorno de cúmulos globulares galácticos y para ello, seleccionamos 24 de estos sistemas en el rango de distancia  $10 \leq R_{GC} \leq 40$  kpc, coincidente con la región de transición entre halo acretaado y formado in situ [6], lo que representa 2/3 de los cúmulos en esta región de la Vía Láctea [7]. Nuestra fotometría de gran campo, obtenida con los telescopios Isaac Newton y ESO 2.2 m, revela la existencia de una población subyacente en una fracción significativa de los casos, manifestándose como sobredensidades en los diagramas color–magnitud obtenidos. En 7 de los cúmulos globulares estudiados encontramos evidencias de la presencia de la corriente de Sagitario, si bien sólo 3 de estos sistemas se encuentran a la misma distancia radial que esta subestructura. Por otro lado, otros 3 cúmulos parecen estar asociados con el anillo de Monoceros, una subestructura de baja latitud galáctica cuyo origen sigue siendo objeto de debate. Estos resultados nos indican que la galaxia de Sagitario, con sus 8–12 cúmulos globulares depositados en el halo de la Vía Láctea, es la galaxia enana del Grupo Local con mayor eficiencia en la formación de cúmulos y se puede establecer su masa total como la mínima necesaria para formar estas asociaciones estelares. Además, la posible asociación del subsistema formado por NGC 1851, NGC 1904 y NGC 2298 con Monoceros, podría ayudarnos a establecer definitivamente su origen extragaláctico.

Para obtener un criterio con el que separar el contenido estelar de los cúmulos, derivamos perfiles radiales para estos sistemas incluyendo las regiones más externas, que habitualmente han sido poco exploradas en comparación con el área central. Nuestros resultados sugieren que los modelos dinámicos de King, que se han utilizado de forma generalizada para estudiar estos sistemas, no son capaces de reproducir las regiones externas de nuestros perfiles que, en algunos casos, incluyen áreas observadas por primera vez durante este trabajo. El radio de marea clásico,  $r_t$ , es al menos un  $\sim 40\%$  mayor que los valores obtenidos previamente (basados en perfiles radiales incompletos) y una ley de potencias parece ser una mejor representación para al menos 2/3 de los perfiles observados. La pendiente de esta función ( $\gamma$ ) es utilizada para clasificarlos en dos categorías: aquellos que presentan un perfil más plano y una densidad elevada ( $\gamma < 4$ ; *no afectados por marea*) y los cúmulos de baja densidad con perfiles radiales más pronunciados ( $\gamma > 4$ ; *afectados por marea*). En este trabajo, proponemos que  $\gamma$  podría ser un indicador del estado evolutivo de un cúmulo globular y podría proporcionarnos pistas acerca de su origen.

La confirmación de la asociación entre cúmulos y corrientes de marea debe realizarse espectroscópicamente con instrumentación que nos permita el estudio del mayor número posible de estrellas de estas poblaciones subyacentes. Esto nos permitirá refinar nuestros modelos teóricos que tratan de describir estas extensas corrientes de marea con el objetivo final de derivar más precisamente la simetría del potencial galáctico y la distribución de masa en el halo. Este estudio basado en una muestra de observaciones de gran campo sin precedentes, muestra el potencial, tanto observacional como teórico, del estudio con instrumentación de gran campo de una fracción mayor de cúmulos globulares galácticos. En este sentido, extender las técnicas utilizadas en esta tesis a los cúmulos del hazlo externo ( $\geq 40$  kpc) puede ayudarnos a comprender el proceso que dio lugar a la estructura actual de la Vía Láctea y a la vez comprender la evolución, debida a factores tanto externos como internos, de los cúmulos globulares galácticos.

## Referencias

- [1] Peebles, P. J. E., 1974, ApJ, 189 L51+
  - [2] White, S. D. M. & Rees, M. J., 1978, MNRAS, 183, 341
  - [3] Forbes, D. A. & Bridges, T., 2010, MNRAS, 404, 1203
  - [4] van den Bergh, S. & Mackey, A. D., 2004, MNRAS, 354, 713
  - [5] Zinn, R., 1993, ASPCS, 48, 38
  - [6] Carollo, D., Beers T. C., Lee Y. S. et al., 2007, Nat, 450, 1020
  - [7] Harris, W. E., 2010, arxiv:1012.3224
- 

### Publicaciones derivadas directamente de este trabajo

- Carballo-Bello J. A., Martínez-Delgado D., Sollima A., Fliri J. y Muñoz R.: *Globular clusters as tracers of the hierarchical formation of the Milky Way*, 2013, en preparación.
- Carballo-Bello J. A., Muñoz R., Geha M., Martínez-Delgado D., Sollima A., Côte P., Stetson P., Simon J. y Djorgovski S. G. : *Searching for tidal features in the surroundings of a sample of outer Galactic globular clusters*, 2013, en preparación.
- Sollima A., Gratton R. G., Carballo-Bello J. A., Martínez-Delgado D., Carretta E., Bragaglia A., Lucatello S. y Peñarrubia J.: *Spectroscopic hint of a cold stream in the direction of the globular cluster NGC 1851*, 2012, MNRAS, 426, 1137.
- Carballo-Bello J. A., Gieles M., Sollima A., Koposov S., Martínez-Delgado D. y Peñarrubia J.: *Outer density profiles of 19 Galactic globular clusters from deep and wide-field imaging*, 2012, MNRAS, 419, 13.
- Sollima A., Carballo-Bello J. A., Beccari G., Ferraro F. R., Pecci F. F. y Lanzoni B.: *The fraction of binary systems in the core of five Galactic open clusters*, 2010, MNRAS, 401, 577.

### Otras publicaciones

- Martínez-Delgado D., Romanowsky A. J., Gabany R. J., Annibali F., Arnold J. A., Fliri J., Zibetti S., van der Marel R. P., Rix H-W., Chonis T. S., Carballo-Bello J. A., Aloisi A., Maccio A. V., Gallego-Labordá J., Brodie J. P. y Merrifield M. R.: *Dwarfs Gobbling Dwarfs: A stellar tidal stream around NGC 4449 and hierarchical formation on small scales*, 2012, ApJ, 748, 24L.
- Cooper A. P, Martínez-Delgado D., Helly J., Frenk C., Cole S., Crawford K., Zibetti S., Carballo-Bello J. A. y Gabany R. J.: *The formation of shell ellipticals similar to NGC 7600 in the cold dark matter cosmogony*, 2011, ApJL, 743, L21.
- Martínez-Delgado D., Gabany R. J., Crawford K., Zibetti S., Majewski S. R., Rix H-W., Fliri J., Carballo-Bello J. A., Bardalez-Gagliuffi D. C., Peñarrubia J., Chonis T. S., Madore B., Trujillo I., Schirmer M. y McDavid D. A.: *Stellar tidal streams in spiral galaxies of the Local Volume: A pilot survey with modest aperture telescopes*, 2010, AJ, 140, 962.

### Publicaciones no arbitradas

- Carballo-Bello J. A., Martínez-Delgado D. y Fliri J.: *Galactic archaeology for amateur astronomers: RR Lyrae stars as tracers of the Milky Way formation*. 2011. IAU Symposium vol. 260
- Carballo-Bello J. A. y Martínez-Delgado D.: *Tidal remnants around the Galactic globular clusters NGC 1851 and NGC 1904*. 2010. Highlights of Spanish Astrophysics V, 383
- Carballo-Bello J. A., Martínez-Delgado D. y Sollima A.: *Searching for tidal remnants in the Milky Way: photometric survey of globular clusters*. 2010. AIPC, 1240, 291
- Carballo-Bello J. A. y Martínez-Delgado D.: *Photometric survey of the Galactic Anticenter: the Canis Major debate*. 2009. IAU Symposium vol. 254, 13P