

# Relaciones de escala entre sistemas de cúmulos globulares y sus galaxias anfitrionas. ¿Cómo influye el ambiente?

B.J. De Bortoli<sup>1,2</sup>, J.P. Caso<sup>1,2</sup>, A.I. Ennis<sup>1,2</sup> & L.P. Bassino<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

<sup>2</sup> Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

Contacto / brudebo.444@gmail.com

**Resumen** / Las propiedades de los sistemas de cúmulos globulares y sus galaxias anfitrionas están íntimamente relacionadas. En este trabajo analizamos la distribución radial proyectada de 27 sistemas de cúmulos globulares asociados a galaxias de tipo temprano de luminosidad intermedia/baja ubicadas en los cúmulos de Virgo, Fornax y Coma, así como las propiedades los mismos que pueden obtenerse a partir de dicha distribución (e.g. población total, extensión y radio efectivo). Nuestra muestra fue ampliada con datos disponibles en la literatura, obteniendo una muestra final de 100 sistemas de cúmulos globulares. Estas propiedades fueron relacionadas con las de sus galaxias anfitrionas (e.g. masa estelar total), analizando además la influencia de la densidad del ambiente en que se localizan.

**Abstract** / The properties of globular cluster systems and their host galaxies are strong related. In this work we analyse 27 globular cluster system radial distributions belonging to early type galaxies of intermediate/low luminosity from Virgo, Fornax and Coma clusters, also the properties that we can obtain from this distribution (e.g. total population, extension and effective radius). Our sample was enlarged with available data, obtaining a final sample of 100 globular cluster systems. These properties were related with those of their host galaxy (e.g. stellar mass), also analysing the influence of the environmental density where they are located.

**Keywords** / galaxies: star clusters: general

## 1. Introducción

Los cúmulos globulares (CG) son sistemas estelares compactos y muy antiguos (Hansen et al., 2013; Usher et al., 2019; Fahrion et al., 2020). Las propiedades de los sistemas de cúmulos globulares (SCG) están íntimamente relacionadas con los procesos evolutivos de sus galaxias anfitrionas. Por tales motivos, son buenos laboratorios para el estudio de la evolución conjunta entre éstos y sus galaxias huésped.

Forbes et al. (2011) proponen que la formación de los SCG en galaxias de tipo temprano (GTT) se da en dos fases, una primera fase *in situ* que se da a alto *redshift*, principalmente por fusiones de galaxias, y luego una fase de acreción en la cual las galaxias más masivas le quitan CG por efecto de marea a galaxias satélites.

Por otro lado, hay indicios de que la densidad del ambiente en el que residen las galaxias impacta en las propiedades de sus SCG. Por ejemplo, galaxias elípticas brillantes aisladas muestran SCG más pobres que sus contrapartes en cúmulos (Caso et al., 2013; Lane et al., 2013; Bassino & Caso, 2017; Richtler et al., 2015).

Esta evolución conjunta de los SCG y sus galaxias anfitrionas hace relevante analizar relaciones de escala entre sus propiedades. Y en particular, nos interesa estudiar cómo afecta a tales relaciones la densidad del medioambiente donde residen las galaxias.

## 2. Muestra de galaxias

En el presente trabajo aumentamos la muestra utilizada en Caso et al. (2019). Dicha muestra consistió de 24 GTT de luminosidad intermedia en ambientes de baja densidad en Fornax y Virgo. Además incluía 3 muestras conjuntas, construidas con galaxias enanas de Virgo. En esta ocasión, agregamos 23 GTT de luminosidad intermedia de Fornax, Virgo y Coma y 4 muestras conjuntas de iguales características a los previamente mencionadas.

Los datos empleados corresponden a imágenes de archivo tomadas con la cámara ACS del HST, utilizando los filtros F475 y F850 para Virgo y Fornax y F475 y F814 para Coma. Se utilizó fotometría disponible de los relevamientos de los cúmulos de Virgo (ACSVCS) y Fornax (ACSFCS) (Jordán et al., 2009, 2015) así como fotometría propia para Coma.

Finalmente adicionamos otros estudios de galaxias de la literatura y obtuvimos una muestra final con un total de 100 SCG.

## 3. Estimador de densidad del medioambiente

Se calculó la densidad del medioambiente de las galaxias considerando las más luminosas que  $M_K = -21$  mag, de varios relevamientos. Según la cobertura espacial y la profundidad necesaria, se utilizaron los relevamientos *2MASS Redshift survey* (Huchra et al., 2012), *6dF*

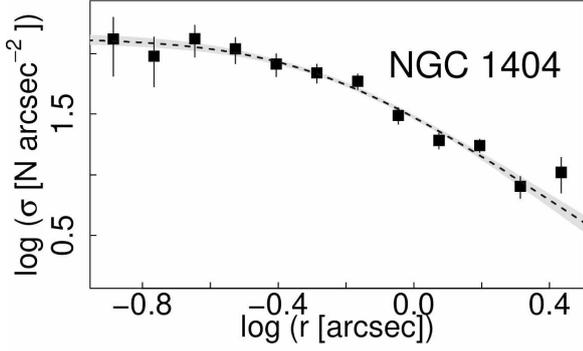


Figura 1: Perfil radial del SCG de la galaxia NGC 1404.  $\sigma$  es la densidad numérica de CG y  $r$  la distancia al centro de la galaxia. La línea de trazos azul muestra el ajuste de Hubble modificado. La región gris muestra la variación resultante realizando ajustes individuales modificando el *bin*.

*Galaxy survey* (Jones et al., 2009), SDSS Spectroscopic Catalogue (Abazajian et al., 2009) o trabajos específicos del cúmulo de Coma (Mobasher et al., 2001; Eisenhardt et al., 2007).

La densidad calculada ( $\Sigma_{10}$ ) consiste en una densidad numérica para las 10 galaxias más cercanas.

## 4. Perfiles radiales

Se ajustó el perfil de Hubble modificado (Binney & Tremaine, 1987; Bassino & Caso, 2017) a los perfiles radiales de los SCG corregidos por completitud y por contaminación (para más detalle ver Caso et al., 2019). A modo de ejemplo en la Fig. 1 mostramos el ajuste que resulta en la distribución radial proyectada del SCG de la galaxia NGC 1404.

A partir de este tipo de ajustes se pueden obtener los parámetros que caracterizan el SCG, tales como la población total ( $N_{CG}$ ), la extensión ( $r_L$ ) y el radio efectivo del SCG ( $r_{eff}$ ).

## 5. Resultados

### 5.1. Riqueza del SCG

Zepf & Ashman (1993) definen el parámetro  $T_N$ , representativo de la riqueza de un SCG, que se calcula como el cociente entre  $N_{CG}$  y la masa estelar ( $M_{est}$ ) en unidades de  $10^9 M_\odot$ . En la Fig. 2 se muestra el comportamiento de este parámetro en función de la masa estelar de la galaxia. Se observa un comportamiento distinto entre galaxias centrales y satélites, llegando a un mínimo de  $T_N$  en  $\approx 5 \times 10^{10} M_\odot$ .

Además, se puede ver que las galaxias satélites en ambientes densos muestran mayormente valores más bajos de  $T_N$ , al contrario de aquellas en densidades intermedias. Esto resulta lógico, pues en ambientes de densidad alta estas galaxias sufren más efectos de marea que hacen que los SCG sean más pobres.

Por otro lado, se puede ver que los SCG de galaxias centrales en ambientes densos son más ricos. Estas galaxias tienen una historia de numerosas fusiones que enriquecen sus SCG.

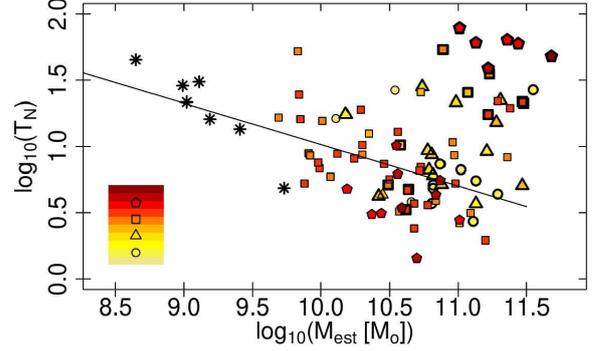


Figura 2: Parámetro  $T_N$  en función de la masa estelar de la galaxia huésped. Los diferentes símbolos y colores muestran distintos valores de  $\Sigma_{10}$ , incrementando desde círculos amarillos hasta pentágonos rojos. Los símbolos con bordes remarcados resaltan a las galaxias centrales, mientras que los restantes son galaxias satélites. Los asteriscos corresponden a los SCG superpuestos construidos a partir de galaxias enanas de Virgo. La línea sólida corresponde a un ajuste lineal para el caso de las galaxias satélites.

### 5.2. Extensión del SCG

En la Fig. 3 se muestra la extensión del SCG vs. la masa estelar de la galaxia huésped. Se ajustó una relación bilineal obteniendo nuevamente un cambio de comportamiento en  $\approx 5 \times 10^{10} M_\odot$ .

Los residuos muestran que las galaxias satélites en ambientes densos presentan SCG menos extendidos, mientras que lo contrario ocurre en el caso de las centrales en esos mismos ambientes. Además, se puede ver que las galaxias centrales de campo muestran SCG menos extendidos.

### 5.3. Radio efectivo del SCG

El radio efectivo del SCG se calcula a partir de la integración del perfil radial y se define como aquel radio que contiene a la mitad de la población total de CG del sistema. Por tal motivo, nos brinda información del grado de concentración del SCG.

La Fig. 4 muestra el radio efectivo del SCG vs. la masa estelar de la galaxia huésped. Se ajustó una relación bilineal obteniendo un cambio de comportamiento en  $\approx 5 \times 10^{10} M_\odot$ .

Analizando los residuos podemos ver que las galaxias satélites en ambientes de alta densidad presentan radios efectivos más pequeños. Esto es esperable, pues los efectos de marea que sufren estas galaxias afectan principalmente a las regiones externas de sus SCG.

## 6. Conclusiones

- En las relaciones de escala estudiadas, con respecto a la riqueza, la extensión y el radio efectivo del SCG, encontramos un cambio en el comportamiento consistente con un quiebre en masa estelar de la galaxia ya notificado en la literatura. Según Georgiev et al. (2010); Harris et al. (2013), el mismo podría relacionarse con un cambio de eficiencia en la for-

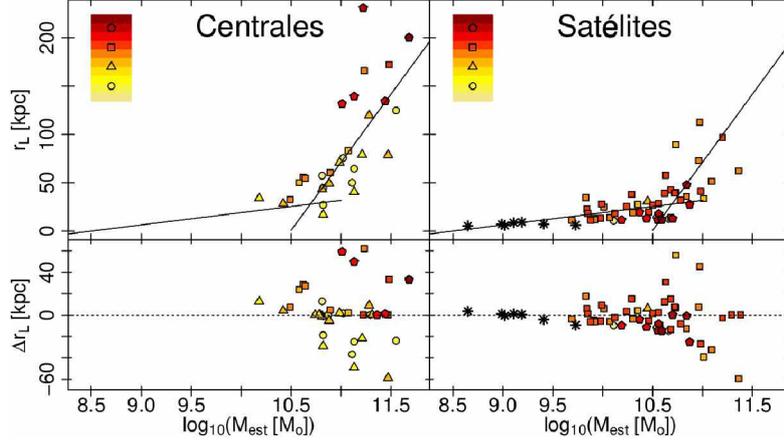


Figura 3: *Paneles superiores*: Extensión del SCG en función de la masa estelar de la galaxia para galaxias centrales (panel izquierdo) y satélites (panel derecho). Las líneas muestran ajustes bilineales. *Paneles inferiores*: Residuos de los ajustes en función de la masa estelar de la galaxia para galaxias centrales (panel izquierdo) y satélites (panel derecho). En ambos casos los símbolos y colores, siguen el mismo código que la Fig 2.

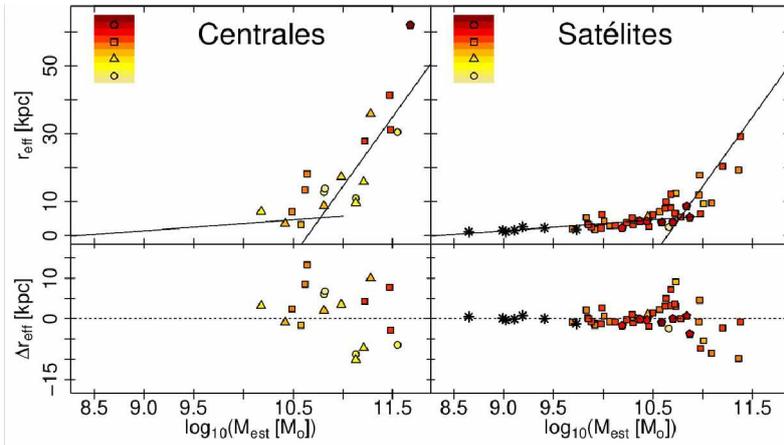


Figura 4: *Paneles superiores*: Radio efectivo del SCG en función de la masa estelar de la galaxia para galaxias centrales (panel izquierdo) y satélites (panel derecho). Las líneas muestran ajustes bilineales. *Paneles inferiores*: Residuos de los ajustes en función de la masa estelar de la galaxia para galaxias centrales (panel izquierdo) y satélites (panel derecho). En ambos casos los símbolos y colores, siguen el mismo código que la Fig 2.

mación estelar. En cambio, Kruijssen (2015) sugiere que se corresponde con el límite de masa en que empieza a ser dominante la formación in-situ por sobre la acreción.

- Las galaxias satélites en ambientes de alta densidad presentan SCG menos extendidos y más compactos, al contrario de lo observado en galaxias centrales.

*Agradecimientos*: Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, y Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

## Referencias

Abazajian K.N., et al., 2009, *ApJS*, 182, 543  
 Bassino L.P., Caso J.P., 2017, *MNRAS*, 466, 4259  
 Binney J., Tremaine S., 1987, *Galactic dynamics*, Princeton, NJ, Princeton University Press

Caso J.P., et al., 2013, *A&A*, 555, A56  
 Caso J.P., et al., 2019, *MNRAS*, 488, 4504  
 Eisenhardt P.R., et al., 2007, *ApJS*, 169, 225  
 Fahrion K., et al., 2020, *A&A*, 637, A27  
 Forbes D.A., et al., 2011, *MNRAS*, 413, 2943  
 Georgiev I.Y., et al., 2010, *MNRAS*, 406, 1967  
 Hansen B.M.S., et al., 2013, *Nature*, 500, 51  
 Harris W.E., Harris G.L.H., Alessi M., 2013, *ApJ*, 772, 82  
 Huchra J.P., et al., 2012, *ApJS*, 199, 26  
 Jones D.H., et al., 2009, *MNRAS*, 399, 683  
 Jordán A., et al., 2009, *ApJS*, 180, 54  
 Jordán A., et al., 2015, *ApJS*, 221, 13  
 Kruijssen J.M.D., 2015, *MNRAS*, 454, 1658  
 Lane R.R., Salinas R., Richtler T., 2013, *A&A*, 549, A148  
 Mobasher B., et al., 2001, *ApJS*, 137, 279  
 Richtler T., et al., 2015, *A&A*, 574, A21  
 Usher C., et al., 2019, *MNRAS*, 490, 491  
 Zepf S.E., Ashman K.M., 1993, *MNRAS*, 264, 611