

El sistema de cúmulos globulares de la galaxia elíptica NGC 3613

B.J. De Bortoli^{1,2}, L.P. Bassino^{1,2}, J.P. Caso^{1,2} & A.I. Ennis^{1,2}

¹ *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

² *Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina*

Contacto / brudebo.444@gmail.com

Resumen / Se presenta un análisis fotométrico del sistema de cúmulos globulares (CGs) de NGC 3613, una galaxia elíptica intrínsecamente brillante ($M_v \sim -21.5$) que se encuentra en un ambiente de baja densidad. Se muestra la distribución de color, donde se observan las dos subpoblaciones clásicas “azul” y “roja” de CGs. También se exhibe la distribución radial. De éstas se deduce que la subpoblación roja está más concentrada hacia el centro de la galaxia anfitriona. Se muestra además el diagrama color-magnitud donde se detecta el llamado *blue-tilt*.

Abstract / We present a photometric analysis of the globular cluster (GC) system of NGC 3613, an intrinsically bright elliptical galaxy ($M_v \sim -21.5$) that is located in a low-density environment. We present the colour distribution, where the classical “blue” and “red” GC sub-populations are identified. We display the radial distribution as well. On their basis, we conclude that red sub-population is more concentrated toward the centre of the host galaxy. We also show the color-magnitude diagram, where we identify the so-called blue-tilt.

Keywords / galaxies: star clusters: general — galaxies: elliptical and lenticular, cD — galaxies: evolution

1. Introducción

Los cúmulos globulares (CGs) se forman en brotes de formación estelar masiva, tales como aquellos que se producen en fusiones de galaxias (Kruijssen, 2015). Las simulaciones hidrodinámicas como E-MOSAIC (Pfeffer et al., 2018; Kruijssen et al., 2019), muestran escenarios con una fuerte correlación entre la formación de éstos y las estrellas de campo. Por otro lado, como son objetos muy antiguos (e.g. Hansen et al., 2013; Tonini, 2013) proveen valiosa información sobre las primeras fases de formación de su galaxia huésped.

Desde el punto de vista observacional, se destaca que al ser compactos e intrínsecamente brillantes es posible observarlos en galaxias que se encuentran a más de 100 Mpc (Harris et al., 2014, 2016). En particular, los SCGs de galaxias de tipo temprano pueden contener miles de CGs como consecuencia de numerosas fusiones (e.g. Bassino et al., 2008; Harris et al., 2016; Caso et al., 2017).

Todos estos factores hacen que los sistemas de CGs (SCGs) de las galaxias sean objetos de estudio privilegiados a la hora de intentar comprender la historia evolutiva de una galaxia.

NGC 3613 es una galaxia clasificada como E6, situada aproximadamente a 30 Mpc según el método de fluctuaciones de brillo superficial (Blakeslee et al., 2001) y con una magnitud visual absoluta de $M_v \sim -21.5$. Si bien el brillo de ésta se encuentra en el rango de galaxias masivas brillantes ubicadas en centros de cúmulos ricos (Tonry, 1987), su entorno es un grupo de una decena de galaxias.

En De Bórtoli et al. (2018) se presentó un análisis preliminar del SCG de esta galaxia, mientras que aquí

presentamos los resultados finales obtenidos.

2. Observaciones y fotometría

Las observaciones utilizadas en este estudio fueron obtenidas con el telescopio Gemini-N y la cámara GMOS, en los filtros g' , r' e i' , con cada uno de los cuales se tomaron 4 exposiciones de 450 s, 210 s y 270 s, respectivamente. El programa de observación es el GN-2013A-Q-42, cuyo investigador principal fue J.P. Caso.

Se utilizaron rutinas de los paquetes de códigos GMOS y DAOPHOT de IRAF para calibrar, combinar, alinear y registrar las imágenes individuales, obteniendo una imagen final para cada filtro. Se aplicaron dos filtrados que permitieron sustraer parte del brillo de la galaxia. Luego se realizó la fotometría *point spread function* (PSF) y se seleccionaron las fuentes puntuales. En la Fig. 1 se puede ver el resultado para el filtro g' .

3. Resultados

3.1. Diagrama color-magnitud y *blue-tilt*

La Fig. 2 muestra el diagrama color-magnitud i'_0 vs. $(g' - i')_0$ de las fuentes puntuales detectadas. Los puntos coloreados son los que fueron seleccionados como candidatos a CGs, siguiendo criterios en magnitudes (i.e., un límite brillante para evitar tener candidatas a galaxias enanas ultracompactas (UCDs, por sus siglas en inglés) y un límite débil para garantizar un 70% de completitud) y colores (seleccionando los colores típicos de los CGs, ver De Bórtoli et al. (2018)). A su vez los candidatos a CGs fueron divididos en subpoblaciones azul

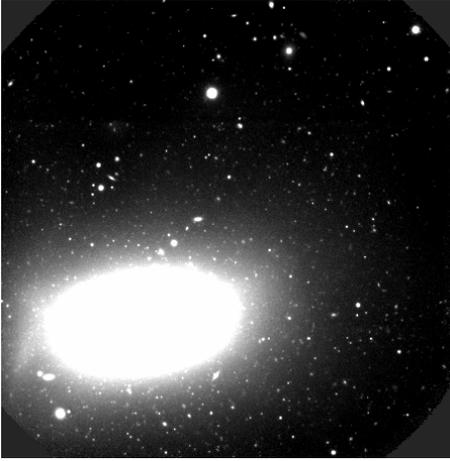


Figura 1: Imagen GMOS final de NGC 3613 en la banda g' , con un campo de visión de $5.5' \times 5.5'$. El Norte está hacia arriba, el Este se encuentra hacia la izquierda.

y roja (pobres y ricos en metales, respectivamente) tomando como límite $(g - i)_0 = 0.95$ (Faifer et al., 2011), y posteriormente se tomó el promedio en color de submuestras adyacentes (cuadrados grandes de la Fig. 2) con igual cantidad de objetos en cada subpoblación (50 en la subpoblación roja y 65 en la azul), aunque dichas muestras ocupen distintos intervalos de magnitud.

De este análisis se observó que en la subpoblación azul los CGs son más rojos a medida que se consideran objetos más brillantes, mientras que en la subpoblación roja no existe tal relación entre magnitud y color en el diagrama. Este efecto, que se observa en algunas subpoblaciones azules CGs se conoce como *blue-tilt*. En un principio, fue interpretado como una relación masa-metalicidad (Bailin & Harris, 2009), luego Usher et al. (2018) plantearon que esta inclinación sería consecuencia de la falta de CGs más brillantes de la subpoblación azul. Recientemente, Choksi & Gnedin (2019) plantean que es una consecuencia de un corte en la función inicial de masas de los CGs, que se da porque los CGs azules se forman en galaxias de baja masa, donde no hay suficiente gas frío.

3.2. Distribución de color

La Fig. 3 muestra la distribución de color de los CGs para tres regiones de radios galactocéntricos: una más interna ($20'' < R_g < 70''$), una intermedia ($70'' < R_g < 110''$), y otra más externa ($R_g > 110''$). Se utilizó un bin de 0.06 mag y se excluyó la zona central para evitar problemas introducidos por la saturación en el centro de la galaxia.

Se utilizó el *software* GMM (Muratov & Gnedin, 2010) para ajustar Gaussianas y establecer, mediante un test estadístico adecuado, si es aceptable suponer bimodalidad. Hallamos que en todos los rangos analizados se trata de una distribución bimodal. Las medias de las Gaussianas (colores medios $(g - i)'$) ajustadas para cada subpoblación se mantienen similares en las distintas regiones ($\mu_{blue} \approx 0.85$ y $\mu_{red} \approx 1.07$, respectivamente) y coinciden con los valores típicos presentes en la literatura

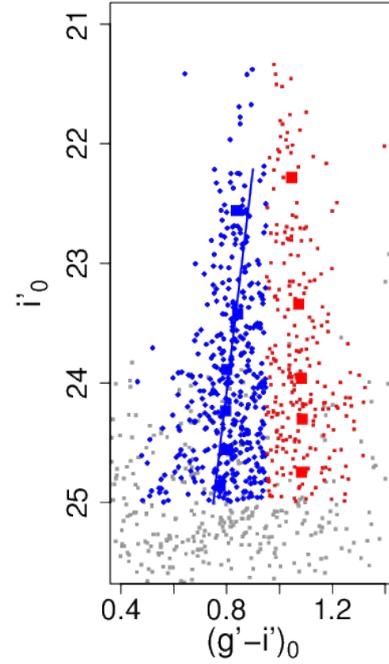


Figura 2: Diagrama color-magnitud para las fuentes puntuales (cuadrados grises pequeños). Los CGs pobres (azules) y los ricos en metales (rojos) se muestran con rombos azules y cuadrados rojos, respectivamente. Los cuadrados grandes representan los promedios en color de cada submuestra, ordenados por magnitud y cada una de ellas con igual cantidad de objetos.

tura (e.g. Forbes et al., 2011).

Se observa que a medida que se analizan regiones más externas, la subpoblación roja va decreciendo, es decir que la misma estaría más concentrada hacia el centro de la galaxia.

3.3. Distribución radial

La Fig. 4 muestra la distribución radial de cada subpoblación de CGs, corregida por contaminación y por completitud. Para cada una de ellas se ajustó una ley de potencias de la forma:

$$\log_{10}(n) = a + b \log_{10}(r), \quad (1)$$

donde n es la densidad numérica proyectada de CGs, r es el radio galactocéntrico, y a y b los coeficientes ajustados.

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos del ajuste sin considerar el punto más externo por estar muy afectado por contaminación, pues al estar estos puntos muy cercanos al nivel del *background* la corrección por contaminación no es precisa.

Al igual que en el análisis de la distribución de color, se observa que la subpoblación roja se encuentra más concentrada hacia el centro de la galaxia anfitriona, pues tiene una distribución radial de pendiente más negativa que la azul.

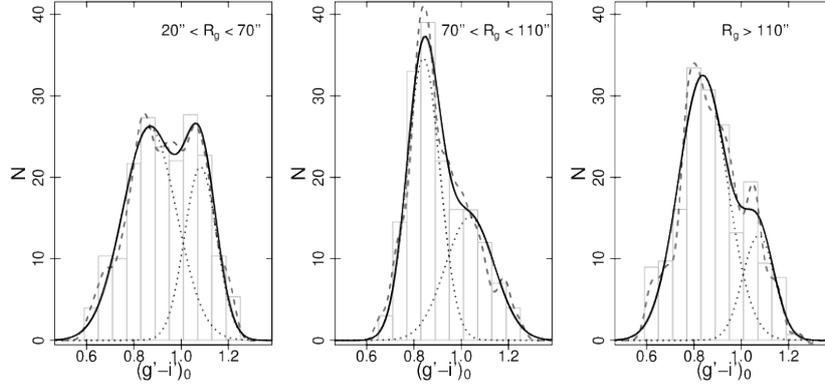


Figura 3: Distribución de color de los candidatos a CGs para tres regiones de distintos rangos galactocéntricos. Las líneas de trazos y de puntos muestran el histograma suavizado y las Gaussianas ajustadas, respectivamente. Las líneas sólidas muestran el resultados de sumar las dos Gaussianas.

	Roja	Azul
a	1.34 ± 0.03	1.47 ± 0.03
b	-1.30 ± 0.12	-0.97 ± 0.12

Tabla 1: Coeficientes de las leyes de potencia ajustadas a la distribución radial de ambas subpoblaciones de CGs.

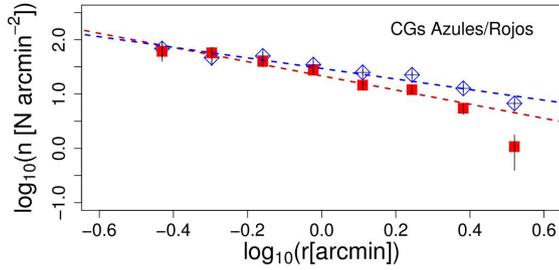


Figura 4: Distribución radial proyectada, corregida por contaminación y completitud, para las subpoblaciones de CGs azul y roja (rombos vacíos y cuadrados llenos, respectivamente). Las líneas de trazos representan el ajuste obtenido mediante leyes de potencia. Con barras verticales se indican los errores para cada punto. Los puntos más externos fueron dejados fuera del ajuste, por estar muy afectados por contaminación.

4. Conclusiones

Los principales resultados obtenidos para el presente estudio del SCG de NGC 3613 son:

- La distribución de color del SGC resultó bimodal para las regiones de distintos radios galactocéntricos analizados. Los colores medios de éstas subpoblaciones coinciden con los valores típicos presentes en la literatura.
- La subpoblación azul muestra una correlación en el diagrama color-magnitud, tal que los CGs más brillantes se tornan más rojos (*blue-tilt*).

- La subpoblación roja, de acuerdo a lo observado en las distribuciones de color y radial, está más concentrada hacia el centro de la galaxia anfitriona.

Agradecimientos: Los datos utilizados en este trabajo han sido obtenidos mediante el programa GN-2013A-Q-42 del Observatorio Gemini, el cual es operado por la Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., bajo un acuerdo cooperativo con la NSF en representación de los socios de Gemini: the National Science Foundation (Estados Unidos), the National Research Council (Canada), CONICYT (Chile), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Argentina), and Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (Brasil). 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

- Bailin J., Harris W.E., 2009, *ApJ*, 695, 1082
 Bassino L.P., Richtler T., Dirsch B., 2008, *MNRAS*, 386, 1145
 Blakeslee J.P., et al., 2001, *MNRAS*, 327, 1004
 Caso J.P., Bassino L.P., Gómez M., 2017, *MNRAS*, 470, 3227
 Choksi N., Gnedin O.Y., 2019, *MNRAS*
 De Bortoli B.J., Bassino L.P., Caso J.P., 2018, *BAAA*, 60, 139
 Faifer F.R., et al., 2011, *MNRAS*, 416, 155
 Forbes D.A., et al., 2011, *MNRAS*, 413, 2943
 Hansen B.M.S., et al., 2013, *Nature*, 500, 51
 Harris W.E., et al., 2014, *ApJ*, 797, 128
 Harris W.E., et al., 2016, *ApJ*, 817, 58
 Kruijssen J.M.D., 2015, *MNRAS*, 454, 1658
 Kruijssen J.M.D., et al., 2019, *MNRAS*, 486, 3134
 Muratov A.L., Gnedin O.Y., 2010, *ApJ*, 718, 1266
 Pfeffer J., et al., 2018, *MNRAS*, 475, 4309
 Tonini C., 2013, *ApJ*, 762, 39
 Tonry J.L., 1987, P.T. de Zeeuw (Ed.), *Structure and Dynamics of Elliptical Galaxies*, *IAU Symposium*, vol. 127, 89–98
 Usher C., et al., 2018, *MNRAS*, 480, 3279