

CONTRIBUCIÓN MURAL - POSTER

## La galaxia NGC 3610 y su sistema de cúmulos globulares

L. P. Bassino<sup>1,2</sup> & J. P. Caso<sup>1,2</sup>

(1) *Instituto de Astrofísica de La Plata, CCT La Plata - CONICET – UNLP, Argentina*

(2) *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

**Resumen.** Se presentan resultados preliminares del estudio de la galaxia NGC 3610 y su sistema de cúmulos globulares, con el objetivo de contribuir al esclarecimiento de su historia evolutiva. Se realiza un análisis fotométrico en base a un mosaico de imágenes CCD obtenidas con GMOS/GEMINI, así como imágenes de archivo del ACS/HST. El campo de visión cubierto con dos campos GMOS permite alcanzar distancias galactocéntricas mayores que en estudios previos. Se realiza la descomposición del perfil de brillo superficial de NGC 3610, caracterizándose las distintas componentes. Se estudian, además, las propiedades del sistema de cúmulos globulares.

**Abstract.** We present preliminary results of the study of the galaxy NGC 3610 and its globular cluster system, with the aim of helping to disentangle its evolutionary history. We perform a photometric analysis based on CCD images from GMOS/GEMINI, as well as images from the ACS/HST Archive. The field of view covered with two GMOS fields let us reach galactocentric distances larger than in previous studies. We perform the decomposition of the surface-brightness profile of NGC 3610 and characterize the different components. The properties of the globular cluster system are also studied.

### 1. Introducción

La galaxia NGC 3610 es considerada como un prototipo de remanente de una fusión (Howell et al. 2004), presentando una compleja estructura de “shells” y “plumas” rodeando el cuerpo central e isofotas tipo “caja” (*boxy*). Se trata de una galaxia peculiar masiva ( $M_V \sim -22.0$  mag), clasificada como lenticular barrada con un anillo interior SB(r)0. Integra un grupo de cinco miembros: LGG 234 (García 1993), que se encuentra a una distancia  $d \sim 35$  Mpc (Tully et al. 2013). Se ha mostrado que NGC 3610 posee colores demasiado azules si se la compara con galaxias de tipo temprano de luminosidad similar (Schweizer & Seitzer 1992; Goudfrooij et al. 1994, 2007), lo que se interpreta como una evidencia de reciente formación estelar.

En lo que respecta a su sistema de cúmulos globulares (SCG), se ha estudiado la zona interna, sugiriendo la existencia de una subpoblación de cúmulos de edad intermedia que podría estar relacionada con algún evento que contribuyó a la estructura peculiar de esta galaxia (Whitmore et al. 1997). En base a imágenes del HST, Whitmore et al. (2002) y Goudfrooij et al. (2007) mostraron que la función de luminosidad de una submuestra de cúmulos globulares (CGs)

ubicados más cerca de la galaxia posee un comportamiento peculiar, consistente con el que se observa en cúmulos más jóvenes. Posteriormente, Strader et al. (2003, 2004) confirmaron mediante espectroscopía la presencia de un par de cúmulos jóvenes ( $1-3 \times 10^9$  años) y ricos en metales ( $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.4 \pm 0.7$ ), cuyo origen correspondería a brotes de formación estelar inducidos por la fusión de dos discos ricos en gas, que habría dado lugar a este remanente.

Este trabajo es un complemento de trabajos previos, dado que al utilizar dos campos GMOS podemos cubrir un área mayor y estudiar tanto la galaxia NGC 3610 como su SCG en toda su extensión, llegando hasta las regiones más externas. Presentamos aquí parte de nuestros resultados, referidos en particular a la distribución de color de los CGs y la descomposición del perfil de brillo de NGC 3610.

## 2. Observaciones y reducción de los datos

Los datos observacionales consisten en imágenes en los filtros ( $g'$ ,  $r'$ ,  $i'$ ) obtenidas para dos campos de GMOS (GEMINI, programa GN2013A-Q-42, PI: J.P. Caso), y en los filtros ( $F555W$ ,  $F814W$ ) del archivo del HST (programa 9409, PI: P. Goudfrooij). Los campos de GMOS se superponen levemente, uno está centrado en la galaxia y el otro hacia el W (FOV:  $5.5' \times 5.5'$ ). Las imágenes de GMOS han sido reducidas, calibradas, y corregidas por enrojecimiento siguiendo el procedimiento habitual. La selección de objetos puntuales se ha realizado en base a parámetros de la tarea ALLSTAR de IRAF y el soft SEXTRACTOR (Bertin & Arnouts 1996). Se ha utilizado la zona del campo W de GMOS más alejada de la galaxia para estimar la contaminación, i.e. objetos más cercanos o más lejanos que podrían confundirse con CGs. Los candidatos a CGs se seleccionan entre los objetos puntuales de los campos GMOS, utilizando diagramas color-color (e.g. Caso et al. 2015, y referencias allí citadas).

## 3. Distribución de color de los cúmulos globulares

La Figura 1, panel izquierdo, muestra la distribución de color  $(g' - i')_0$  de los CGs sobre todo el rango de radio galactocéntrico  $R_g$ , y dividido en tres rangos: interior ( $30'' < R_g < 1'$ ), intermedio ( $1' < R_g < 2'$ ), y externo ( $2' < R_g < 4'$ ). Usualmente la distribución de color de CGs en galaxias luminosas (i.e. no enanas) es bimodal, pudiendo ajustarse con dos Gaussianas que identifican las subpoblaciones de CGs “azules” (pobres en metales) y “rojos” (ricos en metales) y cuyos colores medios son típicos dentro de un pequeño intervalo de magnitud. Se aplica a las distintas distribuciones de la Figura 1 el test GMM (Muratov & Gnedin 2010), que permite determinar si el ajuste de una suma de dos Gaussianas es apropiado y obtener los parámetros del ajuste. En base a los resultados del test y las propiedades descritas para el caso general, se observa en la distribución total (Figura 1) que el color medio de la subpoblación roja coincide con el valor esperado. Sin embargo, el color medio de la subpoblación azul es muy rojo, notándose una falta de CGs azules, siendo además la dispersión mucho mayor que para la subpoblación roja (lo contrario del caso usual).

Analizando las distribuciones de color en tres rangos de  $R_g$ , se observa que:

La galaxia NGC 3610 y su sistema de cúmulos globulares

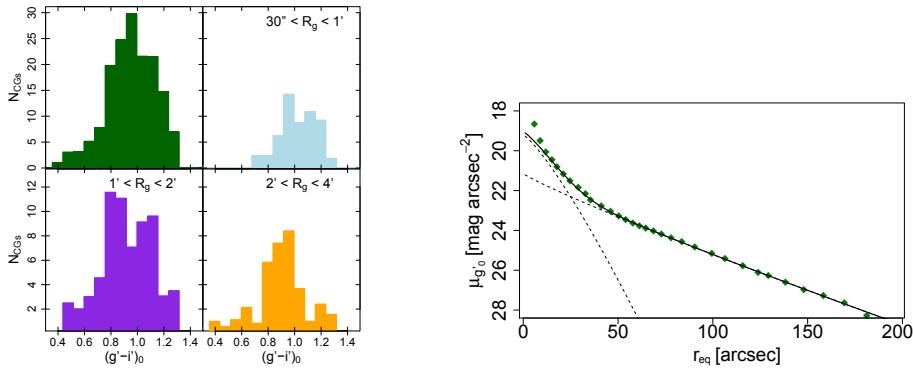


Figura 1. *Izquierda:* Distribución de color de los CGs, para todos los CGs (arriba a la izquierda) y para distintos rangos de  $R_g$ . *Derecha:* Perfil de brillo superficial de NGC 3610, con ajuste de dos modelos de Sérsic (líneas de trazos).

- en la zona interna dominan los CGs rojos, mostrando que la falta de CGs azules corresponde básicamente a esta región más cercana a la galaxia.
- en la zona intermedia se observa la clásica distribución bimodal, con valores medios en CGs azules y rojos dentro de lo usual. Además, se nota una extensión de CGs azules hacia colores más azules.
- en la zona externa se estudian por primera vez los CGs más alejados de la galaxia, y se detecta una distribución de color anómala, unimodal, y centrada en colores ‘intermedios’, i.e. entre medio de los clásicos azules y rojos. Por tal motivo, no pueden identificarse con los típicos CGs ‘viejos’. En base a comparaciones con modelos de SSP (poblaciones estelares simples, Bressan et al. 2012) de abundancias  $0.5 - 1Z_{\odot}$ , esta subpoblación tendría entre  $1.5 - 3 \times 10^9$  años, en acuerdo con lo encontrado por Strader et al. (2003, 2004). Por lo que es posible identificar esta subpoblación con cúmulos jóvenes formados como consecuencia de la fusión.

#### 4. Perfil de brillo superficial de NGC 3610

La Figura 1, panel derecho, muestra el perfil de brillo de la galaxia NGC 3610 obtenido con la tarea ELLIPSE de IRAF, expresado como brillo superficial en la banda  $g'$  en función del radio equivalente  $r_{eq}$ . Se obtiene el mejor ajuste del perfil considerando dos componentes, interna y externa, y utilizando un modelo de Sérsic (Sérsic 1968) para cada una de ellas. Este modelo, expresado en unidades de brillo superficial, tiene tres parámetros libres resultantes del ajuste: brillo superficial central  $\mu_0$ , parámetro de escala  $r_0$ , e índice de Sérsic  $n$  (parámetro de forma,  $n = 1$  corresponde a un perfil exponencial y  $n = 4$  a un perfil de de Vaucouleurs). Gracias a la resolución de las imágenes del HST, Whitmore et al. (1997, 2002) han estudiado un pequeño disco interno de  $3''$ , que no es posible detectar en la imágenes de GMOS. En base a los ajustes del perfil de brillo, se confirma que la componente interna corresponde a un disco, que ya fue detectado por Scorza & Bender (1990), y que se identifica por isofotas elípticas presentes dentro de un radio de  $50''$ . Tal componente está alineada con el pequeño disco

interno, por lo que probablemente ambos sean parte de la misma estructura. Por otra parte, la componente externa corresponde a un esferoide/bulbo extendido, que se detecta como mínimo hasta  $R \sim 3'$  alcanzando un muy bajo nivel de brillo superficial ( $28 \text{ mag/arcsec}^2$ ). Esta componente externa estaría asociada con la importante estructura fina presente en la distribución de brillo de NGC 3610, que incluye plumas, *shells* y una estructura en forma de 'X', que se interpretan como secuelas de la fusión reciente. La subpoblación de cúmulos de colores intermedios, jóvenes y ricos en metales, también estaría asociada a esta componente externa.

En el mapa de color ( $g' - i'$ ) no se observa una distribución con simetría axial, sino se detecta un suave gradiente de color sobre toda la extensión de la galaxia (en la misma dirección que los semiejes mayores de las isofotas más internas), que constituye otra evidencia de que NGC 3610 ha sufrido procesos intensos, como la fusión de dos discos propuesta como origen de este remanente.

## 5. Otras características del sistema de cúmulos globulares

Globalmente, el SCG de NGC 3610 tiene una extensión radial de  $\sim 4'$ , que corresponde a  $\sim 40 \text{ kpc}$  a la distancia adoptada para esta galaxia. A partir de la función de luminosidad obtenida para la población de CGs 'viejos', excluyendo los cúmulos jóvenes, en combinación con la distribución radial proyectada, se calcula que este SCG contiene aproximadamente 500 miembros. Se trata de un sistema relativamente pobre para una galaxia masiva (Harris et al. 2013).

**Agradecimientos.** Este trabajo es realizado en base a subsidios otorgados por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, y Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

## Referencias

- Bertin, E., & Arnouts, S. 1996, A&AS, 117, 393  
Bressan, A., Marigo, P., et al. 2012, MNRAS, 427, 127  
Caso, J.P., Bassino, L.P., et al. 2015, MNRAS, 453, 4421  
Garcia, A.M. 1993, A&AS, 100, 47  
Goudfrooij, P., Hansen, L., et al. 1994, A&AS, 104, 179  
Goudfrooij, P., Schweizer, F., et al. 2007, AJ, 133, 2737  
Harris, W.E., Harris, G.L.H., et al. 2013, ApJ, 772, 82  
Howell, J.H., Brodie, J.P., et al. R. 2004, AJ, 128, 2749  
Muratov, A.L., & Gnedin, O.Y. 2010, ApJ, 718, 1266  
Scorza, C., & Bender, R. 1995, A&A, 293, 20  
Schweizer, F., & Seitzer, P. 1992, AJ, 104, 1039  
Sérsic, J.L. 1968, Atlas de galaxias australes  
Strader, J., Brodie, J.P., et al. 2003, MNRAS, 339, 707  
Strader, J., Brodie, J.P., et al. 2004, AJ, 127, 295  
Tully, R.B., Courtois, H.M., et al. 2013, AJ, 146, 86  
Whitmore, B.C., Miller, B.W., et al. 1997, AJ, 114, 1797  
Whitmore, B.C., Schweizer, F., et al. 2002, AJ, 124, 147