

El violento pasado de NGC 7727: En la búsqueda de sistemas estelares jóvenes

L.A. Sesto^{1,2}, C.G. Escudero^{1,2} & F.R. Faifer^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

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

Contacto / sesto@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / El estudio de cúmulos globulares en remanentes de fusiones recientes de galaxias, ofrece una excelente oportunidad para estudiar no solo la formación de las galaxias progenitoras, sino también las interacciones y la formación de estrellas y sistemas estelares que ocurren durante dichos eventos en el Universo local. Un desarrollo muy interesante de los últimos años ha sido confirmar la existencia de poblaciones de cúmulos globulares jóvenes y de edades intermedias en fusiones de galaxias ricas en gas. Trabajos previos en la literatura indican que el objeto de estudio del presente trabajo, la galaxia NGC 7727, ha sufrido un importante evento de fusión hace aproximadamente $1,3 \times 10^9$ años. Teniendo en cuenta este contexto, NGC 7727 conforma un excelente escenario para el estudio de poblaciones estelares jóvenes, producto de fusiones recientes ricas en gas.

Abstract / The study of globular clusters in remnants of recent galaxy mergers offers an excellent opportunity to study, not only the formation of parent galaxies, but also the interactions and the formation of stars and stellar systems that occur during galaxy interactions in the local Universe. Confirming the existence of populations of young and intermediate-aged globular clusters in gas-rich mergers of galaxies has been one of the most interesting developments in recent years. Previous works in the literature have indicated that the object of study of the following work, the galaxy NGC 7727, has undergone a major merger event approximately 1.3 Gyr ago. Taking this context into account, NGC 7727 forms an excellent scenario for the study of young stellar populations, resulting from recent gas-rich mergers.

Keywords / galaxies: elliptical and lenticular, cD — galaxies: individual (NGC,7727) — galaxies: star clusters: general

1. Introducción

NGC 7727 ($\alpha_{J2000} = 23^h 39^m 53.7^s$, $\delta_{J2000} = -12^\circ 17' 34''$, Figura 1) es la galaxia más brillante de un pequeño grupo de tres galaxias catalogado como LGG 480 (García, 1993), ubicadas a una distancia de ~ 25 Mpc (Georgakakis et al., 2000). Esta galaxia muestra una interesante serie de características morfológicas, entre las que se destacan, una cola de marea prominente con una longitud proyectada de 60 kpc, una segunda cola de marea más corta, un complejo sistema de cáscaras y arcos azules, cúmulos estelares luminosos y dos núcleos brillantes (Schweizer et al., 2018). Según estos autores, el núcleo primario no parece mostrar ningún indicio de formación estelar reciente (edad de $12.9 \pm 0.1 \times 10^9$ años). En contraste, el segundo núcleo es muy compacto y presenta una importante población más joven ($1.4 \pm 0.1 \times 10^9$ años). Todas estas características estarían indicando que NGC 7727 es el remanente de una fusión de galaxias, donde el evento de fusión principal podría haber ocurrido hace aproximadamente 1.3×10^9 años (Georgakakis et al., 2000).

Por otro lado, el sistema de cúmulos globulares (CGs) asociado a esta galaxia ha sido estudiado fotométricamente por Trancho et al. (2004, 2014), aunque utilizando instrumentos con modestos FoV, por lo que en los mencionados trabajos solo se cubre la región más

interna de la galaxia.

Teniendo en cuenta este contexto, presentamos los primeros resultados del estudio fotométrico de la galaxia NGC 7727 y su sistema de CGs utilizando imágenes Gemini+GMOS, las cuales abarcan un área considerablemente mayor que las utilizadas en los trabajos previos.

2. Datos observacionales y fotometría

Para realizar el presente análisis utilizamos datos fotométricos pertenecientes a turnos propios de observación (programa GS-2022A-Q-133, PI: Sesto, L.), en los filtros g' , r' e i' adquiridos con la cámara GMOS montada en el telescopio Gemini Sur. El conjunto de datos está formado por un campo principal centrado en la galaxia, un campo de comparación y un campo de estrellas estándar, todos ellos con un FoV de 5.5×5.5 minutos de arco.

Se llevaron a cabo los procedimientos de detección de fuentes y modelado del halo de NGC 7727 utilizando el algoritmo de búsqueda y clasificación del software SEXTRACTOR (Bertin & Arnouts, 1996). Se realizó fotometría de ajuste de PSF empleando rutinas del paquete DAOPHOT de IRAF (Stetson, 1987). Finalmente, se llevó a cabo la calibración al sistema estándar.



Figura 1: Imagen en falso color de la galaxia NGC 7727, compuesta por filtros g' , r' , i' y $H\alpha$ de Gemini sur. El Norte se encuentra hacia arriba y el Este a la izquierda. Créditos: Ivanhoe Girls Grammar School Astronomy Club (Melbourne, Australia), Samuel Carbone (Trinity College, Perth, Australia), Travis Rector (University of Alaska Anchorage, USA), and the Australian Astronomical Observatory (AAO).

3. Selección de candidatos a CGs

A la distancia de NGC 7727, se espera que los CGs (con radios efectivos de $\sim 2-3$ pc) se presenten como fuentes no resueltas en las imágenes de GMOS. Por tal motivo, como primer paso se seleccionaron únicamente aquellos objetos considerados puntuales según el índice de estelaridad de SExtractor (> 0.5). Como paso siguiente se consideraron aquellos objetos más brillantes que magnitud 24.5 en el filtro g' , lo que nos garantiza una muestra con bajos errores fotométricos ($\epsilon_{(g'-i')} < 0.07$ mag) y un nivel de completitud superior al 90%. Observamos que en aquellos objetos con magnitudes más débiles se produce un rápido aumento en los errores de los colores, lo dificultaría detectar posibles estructuras en la distribución de color integrado de los CGs. Finalmente, se adoptaron los siguientes rangos de colores: $0.3 < (g' - r') < 0.95$; $0.4 < (g' - i') < 1.4$ y $0 < (r' - i') < 0.6$, lo que nos proporciona un total de 97 candidatos a CGs. Estos valores nos aseguran una muestra lo más limpia posible, pero que a su vez incluye la mayor parte de los posibles CGs “clásicos” (por ejemplo, Sesto et al. 2016 y citas allí mencionadas).

La Figura 2 muestra el diagrama color-magnitud para todas las fuentes detectadas por SExtractor (puntos grises) y para los candidatos a CGs (puntos rojos).

4. Resultados

En la Figura 3 se presenta la distribución de color integrado de los candidatos a CGs más brillantes que

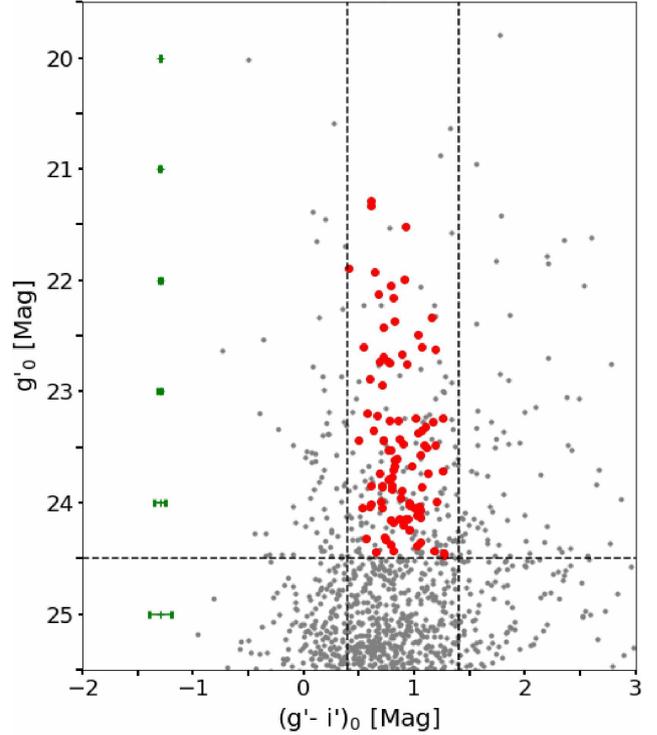


Figura 2: En este diagrama color-magnitud se muestran los candidatos a CGs (puntos rojos), superpuestos sobre el resto de la muestra (puntos grises). Las barras verdes ubicadas a la izquierda indican los errores fotométricos en $(g' - i')$.

$g' = 24.5$ mag. Cabe destacar que se realizó la corrección por contaminación de galaxias de fondo y estrellas de campo, la cual se estimó a partir del campo de comparación mencionado en la Sección 2. La misma fue suavizada utilizando un *kernel gaussiano* con un ancho de banda similar a los errores fotométricos. A primera vista, los candidatos a CGs en NGC 7727 muestran evidencias de bimodalidad, donde se puede apreciar una distribución con dos picos principales en $(g' - i') \sim 0.80$ mag y en $(g' - i') \sim 1.07$ mag. Con el fin de analizar este comportamiento se utilizó el algoritmo GAUSSIAN MIXTURE MODEL (GMM, Muratov & Gnedin 2010) sobre la distribución de color. Este código cuantifica si una distribución multimodal proporciona un mejor ajuste que una unimodal, modelando la muestra mediante *gaussianas* y realizando tres test estadísticos diferentes. En este caso se observó que los parámetros obtenidos por GMM serían indicativos de bimodalidad, arrojando los siguientes valores para cada subpoblación: $\mu_{blue} = 0.74 \pm 0.02$, $\sigma_{blue} = 0.12 \pm 0.02$ y $\mu_{red} = 1.08 \pm 0.04$, $\sigma_{red} = 0.12 \pm 0.02$. Estos resultados están de acuerdo con los valores típicos del pico “azul” y “rojo” que presentan la mayoría de los sistemas de CGs asociados a galaxias de tipo temprano (ver por ejemplo Faifer et al. 2011).

En este primer análisis no se observa la presencia de una subpoblación de CGs con colores intermedios, como es en el caso de otras galaxias con procesos de fusiones recientes, como por ejemplo NGC 1316 (Sesto et al., 2016) y NGC 4382 (Escudero et al., 2022), aun-

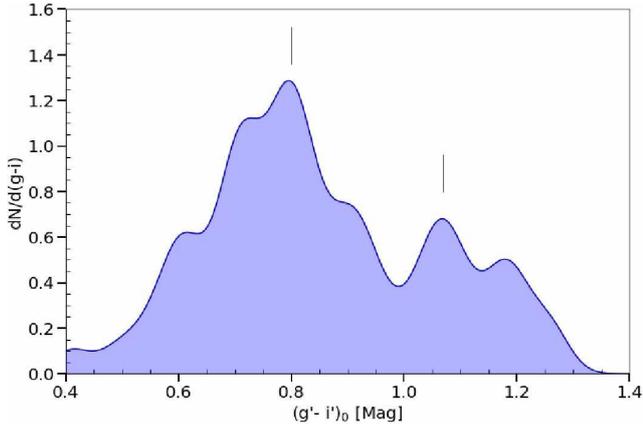


Figura 3: Distribución de color $(g' - i')_0$ para los candidatos a CGs más brillantes que $g' = 24.5$ mag, suavizada adoptando un *kernel gaussiano*. Las líneas verticales indican los dos picos principales mencionados en el texto.

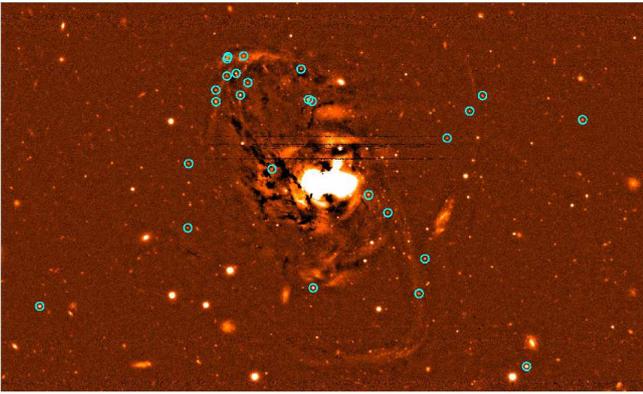


Figura 4: Distribución espacial de los candidatos a CGs con colores entre 0.0 y 0.3 mag en $(g' - i')$ más brillantes que $g' = 24.5$ mag (círculos celestes), superpuestos sobre la imagen del filtro g' con el halo de la galaxia restado. El Norte se encuentra hacia arriba y el Este a la izquierda.

que se requiere de un análisis más riguroso para poder confirmarlo.

Por otra parte, se debe prestar especial atención a aquellos objetos más brillantes que $g' = 24.5$ mag y colores entre 0.0 y 0.3 mag en $(g' - i')$. La distribución espacial proyectada de estos objetos azules y puntuales indica que los mismos estarían ubicados sobre las colas de marea de NGC 7727 (ver Figura 4), lo que podría estar indicando que se trata de objetos jóvenes formados en el último evento de fusión.

5. Resumen y conclusiones

En este trabajo presentamos resultados parciales del estudio fotométrico del sistema de CGs asociado a la galaxia elíptica NGC 7727. Para tal fin se realizó una foto-

metría de ajuste de PSF sobre todas las fuentes detectadas en el campo, se llevó a cabo la calibración al sistema estándar y se realizaron experimentos de completitud. Se seleccionaron los candidatos a CGs y utilizando el campo de comparación se obtuvieron estimaciones de la contaminación.

Como resultados parciales podemos mencionar que la muestra de candidatos a CGs en NGC 7727 muestra evidencias de bimodalidad, con dos picos principales en $(g' - i') = 0.74$ y 1.08 mag, los cuales estarían de acuerdo con los típicos picos “azul” y “rojo” que presentan la mayoría de los sistemas de CGs asociados a galaxias de tipo temprano. Por otro lado podemos mencionar la presencia de objetos extremadamente azules con $(g' - i')$ entre 0.0 y 0.3 mag, los cuales parecen ubicarse sobre las colas de marea de NGC 7727. Un estudio más riguroso de los mismos podría dar pistas sobre si se trata de objetos jóvenes, formados durante los últimos eventos de fusión sufridos por esta galaxia.

6. Trabajo a futuro

Nuestros principales objetivos a futuro son caracterizar la presencia de diferentes poblaciones de cúmulos estelares con características distintivas en términos de colores y distribución espacial. De esta forma, buscamos obtener un escenario más completo de la historia evolutiva de esta galaxia y así contribuir a la comprensión del proceso de ensamblaje de galaxias masivas de tipo temprano en el Universo local.

Agradecimientos: Este trabajo fue realizado gracias al aporte del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, y de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Los datos utilizados en este trabajo han sido obtenidos a través 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 (Argentina), and Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (Brasil).

Referencias

- Bertin E., Arnouts S., 1996, A&AS, 117, 393
 Escudero C.G., et al., 2022, MNRAS, 511, 393
 Faifer F.R., et al., 2011, MNRAS, 416, 155
 Garcia A.M., 1993, A&AS, 100, 47
 Georgakakis A., Forbes D.A., Norris R.P., 2000, MNRAS, 318, 124
 Muratov A.L., Gnedin O.Y., 2010, ApJ, 718, 1266
 Schweizer F., et al., 2018, ApJ, 853, 54
 Sesto L.A., Faifer F.R., Forte J.C., 2016, MNRAS, 461, 4260
 Stetson P.B., 1987, PASP, 99, 191
 Trancho G., et al., 2004, H.J.G.L.M. Lamers, L.J. Smith, A. Nota (Eds.), *The Formation and Evolution of Massive Young Star Clusters*, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 322, 219
 Trancho G., et al., 2014, ApJ, 790, 122