

Más de 5500 nuevas galaxias detrás del plano de la Vía Láctea

L.D. Baravalle^{1,2}

¹ *Instituto de Astronomía Teórica y Experimental, CONICET-UNC, Argentina*

² *Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina*

Contacto / lbaravalle@unc.edu.ar

Resumen / La distribución de galaxias en el cielo es incompleta debido a nuestra propia Galaxia. A medida que nos acercamos al plano Galáctico, el número de galaxias disminuye notablemente debido a la presencia de gas, polvo y alta densidad estelar proveniente de nuestra Galaxia. En este trabajo presentamos el *VVV NIRGC*, el catálogo de 5554 galaxias en la región sur del disco Galáctico usando imágenes del relevamiento *VISTA Variables in the Vía Láctea*. Este catálogo consta de parámetros morfológicos y fotométricos de las galaxias en las bandas *J*, *H* y *K_s* del relevamiento. De estas galaxias sólo 45 han sido previamente estudiadas fotométricamente por otros autores y 7 poseen estimaciones de la velocidad radial. Se están utilizando diversos métodos de agrupamiento para encontrar sistemas de galaxias en estas regiones de bajas latitudes Galácticas poco estudiadas. Además, dando continuidad a este trabajo, se están desarrollando métodos de aprendizaje automático para la detección y clasificación de galaxias en la extensión del relevamiento *VVV*. De esta manera se pretende aportar al estudio de galaxias en estas regiones poco exploradas.

Abstract / The distribution of galaxies in the sky is incomplete due to our own Galaxy. Approaching to the Galactic plane, the number of galaxies decreases notably due to the presence of gas, dust and high stellar density coming from our Galaxy. In this work we present the *VVV NIRGC*, the catalogue of 5554 galaxies in the southern region of the Galactic disk using images from the *VISTA Variables in the Vía Láctea* survey. It consists of morphological and photometric parameters of the galaxies in the *J*, *H* and *K_s* passbands of the survey. Of these galaxies, only 45 have been previously studied photometrically by other authors and 7 of them have radial velocity estimates. We have applied different clustering methods to find galaxy systems in these poorly studied low-latitude Galactic regions. Furthermore, giving continuity to this work, we are developing machine learning methods for the detection and classification of galaxies in the extension of the *VVV* survey. In this way, we intend to contribute to the study of the distribution of galaxies in these poorly explored regions.

Keywords / catalogues — surveys — galaxies: photometry — infrared: galaxies

1. Introducción

Obtener una muestra completa de galaxias en todo el cielo, y por lo tanto libre de sesgos de selección, encuentra su mayor dificultad en los efectos de oscurecimiento a bajas latitudes Galácticas, principalmente en la región del *ZoA* (del inglés, *Zone of Avoidance*). En estas regiones, la extinción por polvo y gas Galácticos y la gran densidad de estrellas obstaculizan no sólo la identificación de galaxias, sino también estudios posteriores (Schröder et al., 2019).

El uso de relevamientos en el infrarrojo (IR) cercano, como el *2 Micron All Sky Survey (2MASS)* (Skrutskie et al. 2006), minimiza los efectos de extinción en la región del *ZoA* en comparación con lo que ocurre en las longitudes de onda del óptico. En este sentido, Jarrett et al. (2000b,a) desarrollaron un algoritmo para detectar y caracterizar fuentes extensas usando datos del *2MASS*, como galaxias y nebulosas Galácticas. En aquellos relevamientos que utilizan la línea de 21 cm del hidrógeno neutro (HI), las observaciones de los objetos sufren aún menos los efectos de extinción, permitiendo la detección y el estudio de fuentes extragalácticas a bajas latitudes Galácticas (Staveley-Smith et al., 2016). Los relevamien-

tos en IR y en HI son complementarios, ya que el IR favorece principalmente la detección de galaxias de tipo temprano, mientras que los relevamientos en HI favorecen la detección de galaxias de tipo tardío (Ramatsoku et al., 2016).

El relevamiento *VISTA Variables in the Vía Láctea (VVV)* (Minniti et al. 2010), es un relevamiento en IR cercano diseñado para estudiar la población y la estructura estelar de la Galaxia en cinco bandas (*Z*, *Y*, *J*, *H*, *K_s*). El mismo ofrece una excelente oportunidad para estudiar fuentes extragalácticas a bajas latitudes Galácticas, como galaxias de fondo, galaxias activas como quásares y blazares, grupos y cúmulos de galaxias. En este sentido, podemos citar el trabajo de Amôres et al. (2012) quienes identificaron galaxias basados en la inspección visual y en el análisis de tamaños y colores comparado con las estrellas del campo. También los trabajos de identificación de galaxias en sobredensidades de Caldwell et al. (2014) y Galdeano et al. (2021); y los trabajos de Pichel et al. (2020) y Donoso et al. (2021) que estudiaron candidatos a blazares a bajas latitudes Galácticas.

Nuestro grupo de trabajo (M. V. Alonso, J. L. Nilo Castellón, C. Valotto & D. Minniti) comenzó a traba-

jar con la detección y caracterización de fuentes extragalácticas en imágenes del relevamiento *VVV* utilizando *SExtractor + PSFEx* (Bertin & Arnouts, 1996; Bertin, 2011) en la periferia del disco Galáctico (Baravalle et al., 2011). En Baravalle et al. (2018) se detalla la metodología desarrollada a partir del análisis de parámetros morfológicos y fotométricos y se presenta un catálogo de más de 500 candidatos a galaxias. Estas fuentes son, en general, pequeñas, circulares, con índice de concentración cercano a 3 e índice de Sersic de 4, indicando que los objetos detectados son de tipo temprano. Usando esta metodología se detectó el primer cúmulo de galaxias a muy baja latitud Galáctica (*VVV-J144321-611754*, $l = 315.836^\circ$, $b = -1.650^\circ$) (Baravalle et al., 2019). Esta concentración comprende 25 galaxias en una región de $30 \times 30 \text{ arcmin}^2$ centrada en la galaxia más brillante. Realizamos un análisis automático de agrupamiento, dando como resultado que *VVV-J144321-611754* es una concentración real y compacta de galaxias de tipo temprano. Asumiendo que se trata de un cúmulo de baja luminosidad en rayos X, se estimó el redshift fotométrico de la galaxia más brillante, $z=0.196 \pm 0.025$. Observaciones espectroscópicas llevadas a cabo con FLAMINGOS-2 en Gemini Sur muestran que los espectros de las dos galaxias más brillantes corresponden a espectros típicos de galaxias de tipo temprano, obteniendo valores de redshift de $z=0.234 \pm 0.022$ y $z=0.232 \pm 0.019$ para estas galaxias. Finalmente detectamos la secuencia roja en el diagrama Color-Magnitud (Gladders & Yee 2000) con una pendiente consistente con un cúmulo de galaxias a $z=0.2$.

2. Datos, metodología y resultados

Para llevar a cabo este trabajo hemos extendido la metodología desarrollada en Baravalle et al. (2018) a los 152 *tiles* correspondientes al disco del relevamiento *VVV*. En Baravalle et al. (2018) se estableció un criterio de separación entre fuentes puntuales y extendidas. Estas últimas deben satisfacer los siguientes criterios morfológicos: índice de estelaridad *CLASS_STAR* < 0.3 ; parámetro *SPREAD_MODEL*, $\Phi > 0.002$; radio que contiene el 50% del flujo total del objeto ($R_{1/2}$), $1.0 < R_{1/2} < 5.0 \text{ arcsec}$ e índice de concentración (*C*, Conzelice et al. 2000), $2.1 < C < 5$. A todas las fuentes que satisfacen este criterio, que llamamos extendidas, le aplicamos los siguientes cortes en los colores para eliminar falsas detecciones: $0.5 < (J - K_s) < 2.0 \text{ mag}$, $0.0 < (J - H) < 1.0 \text{ mag}$, $0.0 < (H - K_s) < 2.0 \text{ mag}$, y $(J - H) + 0.9(H - K_s) > 0.44 \text{ mag}$. Por último realizamos una minuciosa inspección visual de las imágenes en las bandas *J*, *H* y *K_s* para eliminar falsas detecciones. En caso de dudas, se analizaron imágenes en falso color construidas en base a imágenes *J*, *H* y *K_s*. Las falsas detecciones corresponden en su mayoría a estrellas dobles, triples o asociaciones estelares propias de la Galaxia. De esta manera se obtienen la muestra de galaxias confirmadas visualmente.

Cabe mencionar que en este trabajo se hizo uso de dos tipos de magnitudes provistas por *SExtractor*: *MAG_AUTO* (magnitud de Kron) y *MAG_APER* (magnitud dentro de una apertura de 2 seg. de arco de diáme-

tro) utilizada para calcular colores. Todas las magnitudes fueron corregidas por extinción estelar utilizando los mapas de Schlafly & Finkbeiner (2011) y los coeficientes de extinción del relevamiento *VVV* de Catelan et al. (2011).

Siguiendo el procedimiento detallado anteriormente, se obtuvo un catálogo fotométrico y morfológico de 5563 galaxias visualmente confirmadas, *VVV NIR Galaxy Catalogue (VVV NIRGC)*, Baravalle et al. (2021). Cabe mencionar que en un análisis posterior fueron descontadas 9 estrellas determinadas por Gaia-DR3 (Gaia Collaboration et al., 2021), quedando de esta manera un catálogo con 5554 galaxias. Este catálogo se encuentra disponible en forma electrónica para su descarga *.

Del total de galaxias identificadas en *VVV NIRGC*, sólo 55 galaxias han sido previamente estudiadas, reportadas en los trabajos de Schröder et al. (2007); Williams et al. (2014); Said et al. (2016) y Schröder et al. (2019). Por lo que el 99% de los objetos corresponden a nuevas detecciones, siendo este el mayor catálogo de galaxias a través del disco de la Vía Láctea. La Figura 1 muestra la distribución de galaxias en coordenadas Galácticas. Se puede observar que la mayor parte de las galaxias detectadas se encuentran en las regiones periféricas del disco. A medida que la latitud Galáctica se aproxima a cero disminuye considerablemente la detección. Este resultado muestra que las principales limitaciones en la detección de galaxias en estas regiones son la extinción interestelar, extrema en algunos casos, y la alta densidad estelar Galáctica (ver Figuras 8 y 9 de Baravalle et al. 2021). Además presentamos también una descripción de 185 fuentes extendidas del relevamiento *2MASS* que se encuentran en la región de estudio, de las cuales 163 son principalmente objetos Galácticos (cúmulos estelares, objetos estelares jóvenes, regiones HII y nebulosas planetarias). Alrededor del 16% de esos objetos no han sido estudiados previamente por lo que los hemos clasificado visualmente según su apariencia en las imágenes en IR cercano.

El catálogo *VVV NIRGC* está siendo utilizado para realizar estudios estadísticos extragalácticos a bajas latitudes, como por ejemplo la detección de sistemas de galaxias. Para ello hemos implementado diversos métodos de agrupamiento automático, como la tesselación de Voronoi (Voronoi, 1908), Minimum Spanning Tree (MST) (e.g. Campana et al., 2008), the Ordering Points to Identify the Clustering (OPTICS) (McConnachie et al., 2018; Massaro et al., 2019) y grupos compactos siguiendo la metodología de Hickson (1982). De esta manera, hemos encontrado 19 sistemas que se identifican con los 4 métodos al mismo tiempo, por lo que estas sobredensidades tienen mayor probabilidad de ser asociaciones reales (Soto et al. 2021, enviado al MNRAS para su publicación). Estudios espectroscópicos serán fundamentales para la confirmación espectroscópica la naturaleza extragaláctica de estos sistemas. Actualmente estamos implementando la misma metodología que se ha utilizado para procesar los datos del relevamiento *VVV* en el nuevo relevamiento *VVV eXtended Survey, VVVX* (Minniti, 2018). Este relevamiento es una exten-

*https://catalogs.oac.uncor.edu/vvv_nirgc/

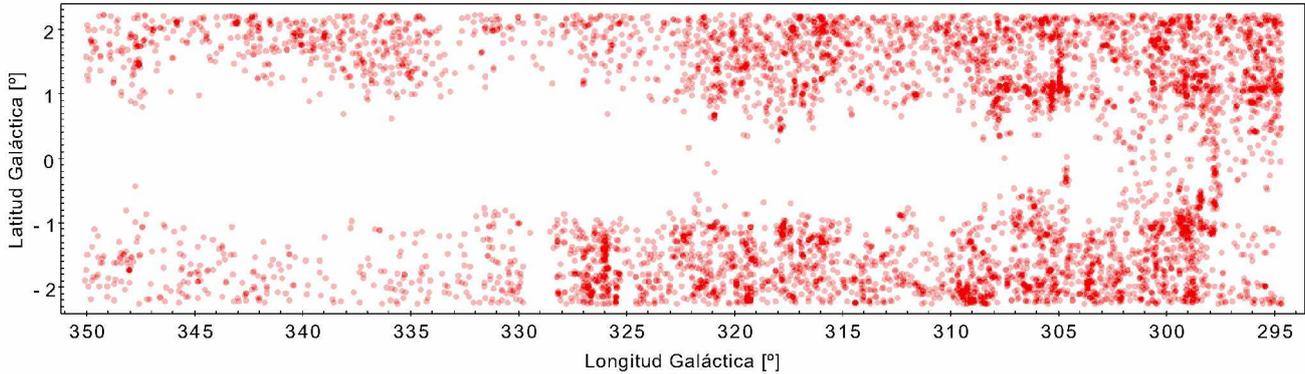


Figura 1: Distribución de galaxias del catálogo *VVV NIRGC* en coordenadas Galácticas

sión del relevamiento *VVV* observando nuevas regiones de la Galaxia ($130^\circ < l < +20^\circ$) en las bandas *J*, *H* y *K_s*. Centraremos nuestro análisis en la región correspondiente al disco Galáctico. Como el relevamiento *VVVX* abarca grandes volúmenes de datos, imposibles de analizar con los métodos tradicionales, su análisis requiere nuevas herramientas en donde la minería de datos y el aprendizaje automatizado se vuelven cruciales. A razón de esto, estamos implementado métodos de aprendizaje automático, supervisados y no supervisados, para la detección de galaxias de manera automática. Este trabajo se está realizando en colaboración con investigadores del IATE: V. Dassa, M. Sgró, M. Lares y C. Villalón.

3. Comentarios finales

Aplicamos el algoritmo de detección y caracterización de galaxias desarrollado en Baravalle et al. (2018) en la región del disco sur del relevamiento *VVV* y obtuvimos un catálogo que consta de parámetros morfológicos y fotométricos de 5554 galaxias, todas ellas confirmadas visualmente. Sólo 45 de estas galaxias fueron previamente estudiadas por otros autores y 7 tienen determinación de velocidad radial. La extinción interestelar junto con la densidad estelar son las principales limitaciones en la detección de galaxias a baja latitud Galáctica.

Actualmente estamos implementando métodos de agrupamiento automático en el catálogo *VVV NIRGC* para encontrar sobredensidades. Además estamos aplicando la metodología desarrollada, junto con métodos de aprendizaje automático, para la detección de galaxias en el relevamiento *VVVX*. La continuidad y sistematicidad de este tipo de trabajos es necesaria para contribuir al estudio de la distribución de galaxias en estas regiones del cielo poco estudiadas, tanto en su disposición tridimensional como en el espacio de parámetros.

Agradecimientos: Agradezco al comité científico la oportunidad de presentar este trabajo en esta 63a. Reunión Anual de la AAA y al revisor del artículo por sus constructivos comentarios. Además agradezco al Consejo Deliberante de Córdoba por el beneplácito No. 1772 otorgado en reconocimiento a este trabajo. Este estudio fue realizado con datos del ESO Public Survey (Programa 179.B-20002) obtenidos con el telescopio VISTA y llevado a cabo mediante subsidios de CONICET y SECyT.

Referencias

- Amôres E.B., et al., 2012, *AJ*, 144, 127
 Baravalle L., Alonso M.V., Nilo Castellón J.L., 2011, *BAAA*, 54, 89
 Baravalle L.D., et al., 2018, *Astron. J.*, 155, 46
 Baravalle L.D., et al., 2019, *ApJ*, 874, 46
 Baravalle L.D., et al., 2021, *MNRAS*, 502, 601
 Bertin E., 2011, I.N. Evans, A. Accomazzi, D.J. Mink, A.H. Rots (Eds.), *Astronomical Data Analysis Software and Systems XX, Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 442, 435
 Bertin E., Arnouts S., 1996, *Astron. Astroph. Supplement (Journal)*, 117, 393
 Campana R., et al., 2008, *MNRAS*, 383, 1166
 Catelan M., et al., 2011, A. McWilliam (Ed.), *RR Lyrae Stars, Metal-Poor Stars, and the Galaxy*, vol. 5, 145
 Coldwell G., et al., 2014, *Astron. Astroph.*, 569, A49
 Conselice C.J., Bershady M.A., Jangren A., 2000, *Astrophys. J.*, 529, 886
 Donoso L.G., et al., 2021, *BAAA*, 62, 231
 Gaia Collaboration, et al., 2021, *A&A*, 649, A1
 Galdeano D., et al., 2021, *A&A*, 646, A146
 Gladders M.D., Yee H.K.C., 2000, *AJ*, 120, 2148
 Hickson P., 1982, *ApJ*, 255, 382
 Jarrett T.H., et al., 2000a, *AJ*, 119, 2498
 Jarrett T.H., et al., 2000b, *AJ*, 120, 298
 Massaro F., et al., 2019, *ApJS*, 240, 20
 McConnachie A.W., et al., 2018, *ApJ*, 868, 55
 Minniti D., 2018, G. Gionti, J.B. Kikwaya Eluo (Eds.), *The Vatican Observatory, Castel Gandolfo: 80th Anniversary Celebration, Astrophysics and Space Science Proceedings*, vol. 51, 63
 Minniti D., et al., 2010, *NewA*, 15, 433
 Pichel A., et al., 2020, *MNRAS*, 491, 3448
 Ramatsoku M., et al., 2016, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 460, 923
 Said K., et al., 2016, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462, 3386
 Schlafly E.F., Finkbeiner D.P., 2011, *Astrophys. J.*, 737, 103
 Schröder A.C., van Driel W., Kraan-Korteweg R.C., 2019, *MNRAS*, 482, 5167
 Schröder A.C., et al., 2007, *A&A*, 466, 481
 Skrutskie M.F., et al., 2006, *Astron. J.*, 131, 1163
 Staveley-Smith L., et al., 2016, *Astron. J.*, 151, 52
 Voronoi G., 1908, *Journal für die reine und angewandte Mathematik (Crelles Journal)*, 1908, 198
 Williams W.L., Kraan-Korteweg R.C., Woudt P.A., 2014, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 443, 41