



# Vinculación entre varios cúmulos estelares y estructuras del medio interestelar

M.A. Corti<sup>1,2</sup>, G.L. Baume<sup>1,3</sup>, J.A. Panei<sup>1,3</sup>, L.A. Suad<sup>2</sup>, J.C. Testori<sup>2</sup>, J. Borissova<sup>4,5</sup>, R. Kurtev<sup>4,5</sup>, A.N. Chené<sup>6</sup> & S. Ramirez Alegria<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)

<sup>2</sup> Instituto Argentino de Radioastronomía, CCT-La Plata (CONICET)

<sup>3</sup> Instituto de Astrofísica La Plata (CONICET - UNLP)

<sup>4</sup> Instituto de Física y Astronomía (Universidad de Valparaíso, Chile)

<sup>5</sup> The Millennium Institute of Astrophysics (MAS, Chile)

<sup>6</sup> Gemini Observatory, Northern Operation Centre (USA).

Contacto/ MAC: mariela@fcaglp.unlp.edu.ar

**Resumen** / Se estudiaron los cúmulos inmersos DBS 77, 78, 102, 160 y 161 localizados en el plano Galáctico en el cuarto cuadrante de la Vía Láctea y el medio interestelar (MIE) circundante. Se analizó fotometría  $UBVI_c$  (SOAR) y espectroscopía infrarroja (NTT, ESO). Estos datos fueron complementados con las bandas  $JHK$  (VVV+2MASS), HI en 21 cm (SGPS), 1.4 GHz (ATCA) y 4.85 GHz (PMN). Se realizó un análisis multibanda y clasificación espectral de las estrellas brillantes de cada zona. Se identificaron también estructuras del MIE posiblemente vinculadas con los cúmulos. Finalmente, se obtuvieron valores preliminares para los parámetros fundamentales de los cúmulos estudiados y de las estructuras del MIE. Se estudió la vinculación entre ambos.

**Abstract** / We study the embedded clusters DBS 77, 78, 102, 160, and 161 located in the Galactic plane in the fourth quadrant of the Milky Way and the surrounding interstellar medium (ISM). We analyzed  $UBVI_c$  photometry (SOAR) and infrared spectroscopy (NTT, ESO). We complemented these data with  $JHK$  (VVV+2MASS), HI 21 cm bands (SGPS), 1.4 GHz (ATCA), and 4.85 GHz (PMN). We did multiband analysis and spectral classification of the brightest stars in each area. We also identified the ISM structures possibly related to the clusters. Finally, we obtained the main parameters of the studied clusters, the structures of the ISM and the link between them.

**Keywords** / stars: fundamental parameters – (ISM:) HII regions

## 1. Introducción

Los cúmulos estelares proveen una herramienta importante para investigar varias propiedades estelares, del MIE y de la estructura de la Galaxia. En particular, los cúmulos inmersos permiten estudiar a las estrellas jóvenes, su impacto sobre el medio circundante y delinear los brazos espirales (Baume et al., 2014).

El objetivo de este trabajo es investigar la composición estelar y su interacción con el MIE en tres direcciones del plano, en el cuarto cuadrante de la Vía Láctea. Para ello se combinaron observaciones fotométricas y espectroscópicas infrarrojas con datos de hidrógeno neutro obtenidas de diferentes cúmulos inmersos, identificados en el catálogo de Dutra et al. (2003)

## 2. Datos

Se analizaron los cúmulos inmersos DBS 77, 78, 102, 160 y 161 (Dutra et al., 2003). Para ello, se obtuvieron imágenes en las bandas fotométricas  $UBVI_c$ , empleando el SOAR Optical Imager (SOI) en el telescopio SOAR de 4.1 m (CTIO, Chile). La cámara utilizada posee una escala de  $0''.153/\text{pix}$  y cada imagen cubre un área de  $5'.2 \times 5'.2$  (FWHM  $\sim 2''$ ). Se emplearon también

imágenes de  $10'.0 \times 10'.0$  del VISTA Science Archive (VSA, Saito et al., 2012, Fig. 1a) y datos del catálogo 2MASS (Skrutskie et al., 2006) para tener información en las bandas  $JHK$ . Para algunas estrellas brillantes ( $K < 13$ ) se obtuvieron espectros IR en las bandas de 2.0 a 2.3  $\mu\text{m}$ , con el espectrógrafo SOFI, con una resolución  $\Delta\lambda = 4.66 \text{ \AA pix}^{-1}$  y el telescopio NTT (La Silla, Chile).

Los datos en 21 cm y en continuo en 1.4 GHz, fueron obtenidos del relevamiento Southern Galactic Plane Survey (SGPS, Australia)\* (McClure-Griffiths et al., 2005). Los mapas en 4.85 GHz, se consultaron del relevamiento Parkes-MIT-NRAO (PMN)\*\*.

## 3. Análisis y resultados

### 3.1. Espectroscópicos y fotométricos

Se realizó fotometría PSF (*Point Spread Function*) utilizando IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*) sobre las imágenes en el óptico ( $UBVI_c$ ) y en el infrarrojo ( $JHK$ ) del relevamiento VVV. En el caso de estrellas brillantes ( $K < 11$ ) se adoptaron los datos infrarrojos provistos por el catálogo 2MASS.

\* <http://www.atnf.csiro.au/research/HI/sgps/queryForm.html>

\*\* <http://www.parkes.atnf.csiro.au/observing/databases/pmn>

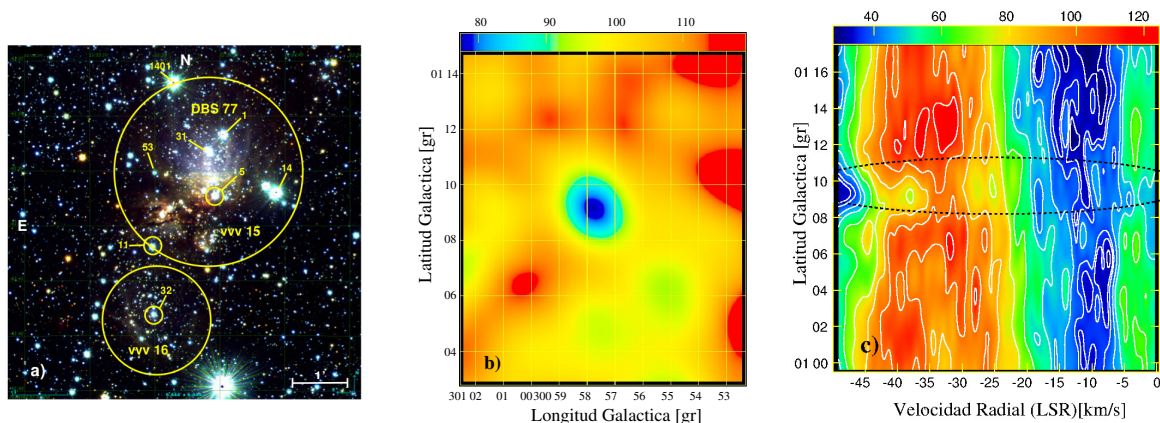


Fig. 1: a) Imagen en falso color JHK de la región de DBS 77. Se indican las estrellas con observaciones espectroscópicas y las zonas seleccionadas para estudiar al cúmulo. b) Mapa emisión HI a  $V_r(LSR) = -43 \text{ km s}^{-1}$ , zona celeste-azul centrada en el cúmulo DBS 77. c) Mapa distribución temperatura de brillo a  $l = 300^\circ 95$ . Las líneas curvas indican el efecto de absorción en la línea de la visual de la región HII localizada en  $V_r(LSR) = -43 \text{ km s}^{-1}$ .

Se obtuvieron espectros de las 8 estrellas más brillantes ubicadas en la región del cúmulo DBS 77 (ver Fig. 1a). Los mismos fueron empleados para determinar el tipo espectral de cada estrella, consultando para ello el atlas de espectros en la banda  $K$  que ofrecen tipos espectrales derivados de estudios ópticos (Rayner et al., 2009; Liermann et al., 2009; Meyer et al., 1998; Wallace & Hinkle, 1997).

Se construyeron los diagramas color-color (CC) y color-magnitud (CM) correspondientes a las regiones estudiadas en base a los datos  $UBVIJK$  disponibles. En la Fig. 2 se presentan, como ejemplo, algunos de los diagramas de la región de DBS 77. Los diagramas CC y CM contienen dos poblaciones estelares: a) las estrellas de la población de campo (símbolos llenos grises) y b) la población del cúmulo afectada por un gran enrojecimiento y mezclada con las estrellas gigantes rojas de campo.

Con el objetivo de identificar los posibles miembros de los cúmulos IR y separarlos de las poblaciones de campo, se estimaron los excesos de color  $E(B-V)$  y  $E(J-K)$  y las distancias espectrofotométricas  $V_0 - M_V$  y  $K_0 - M_K$ . Estos parámetros se obtuvieron de las estrellas cuya clasificación espectral pudo ser conocida, ya sea analizando sus espectros (ver panel derecho de la Fig. 2 a modo de ejemplo) o empleando los datos observacionales ópticos ( $UBVI_C$ ) e infrarrojos ( $JHK$ ) y las calibraciones dadas por Schmidt-Kaler (1982) y Koornneef (1983), respectivamente.

Con el objetivo de diferenciar a las estrellas tempranas con enrojecimiento normal de aquellas que posiblemente tengan exceso infrarrojo, se calculó el parámetro libre de enrojecimiento  $Q_{ir} = (J - H) - 1,7(H - K)$  (Chené et al., 2012). Los diagramas CM:  $K$  vs  $(J - K)$  y CC:  $K$  vs  $Q_{ir}$  (Fig. 2), se han empleado para separar las estrellas de Secuencia Principal (MS) (símbolo azul) de las estrellas de Presecuencia (PMS) (símbolo rojo).

Con el propósito de detectar estrellas de PMS, se correlacionaron nuestros datos fotométricos con todos los datos del IR medio existentes para las regiones en estudio. Para ello se trabajó con los datos del MSX

(*Midcourse Space Experiment*) (Egan & et al., 2003) y del catálogo GLIMPSE\*\*\* del telescopio espacial Spitzer. Ambos se indican con los colores cian y magenta, respectivamente (ver Fig. 2).

En la Tabla 1 se indican los parámetros hallados para los cúmulos estudiados junto con la cantidad de estrellas tempranas (OB). La absorción en el visual con la que se corrige la magnitud observada  $V$ , fue calculada considerando un enrojecimiento normal ( $R = Av/E(B - V) = 3,1$ ), resultando ser:  $Av = 5.3 \text{ mag}$  para el cúmulo DBS 77 y  $Av = 7.7 \text{ mag}$  para los cúmulos DBS 78, 102, 160 y 161.

### 3.2. Radioastronómicos

Con el objetivo de conocer el MIE en el cual se están formando los cúmulos IR, se trabajó con mapas de HI de distintos relevamientos (ver sección 2.). Dichos mapas se centran en las coordenadas galácticas de cada cúmulo (Tabla 1) y corresponden a la velocidad radial baricentral, en el sistema *Local Standard of Rest* (LSR) adoptada para cada uno de ellos (ver última columna en la Tabla 1). Dichas velocidades se emplearon junto con el modelo de ajuste lineal de rotación Galáctica (AL) de Fich et al. (1989) para estimar las correspondientes distancias cinemáticas. Todas las imágenes de HI fueron analizadas con el software AIPS (*Astronomical Image Processing System*).

En la Fig.1b) se muestra una imagen de la distribución de emisión del HI, obtenida para el cúmulo DBS 77, vinculada a la velocidad radial  $V_r(LSR) = -43 \text{ km s}^{-1}$ . Los mínimos presentes en esta emisión de HI fueron interpretados como la absorción del HI de los fotones emitidos por fuentes en el continuo. Para establecer la naturaleza de dichas fuentes, se estimaron los correspondientes índices espectrales:  $\alpha = \log(S_{1420}/S_{4850})/\log(4850/1420)$  para todas las regiones excepto para DBS 77, donde no se disponía de datos.

La ubicación de los cúmulos DBS 77 y DBS 78, es

\*\*\* <http://www.astro.wisc.edu/glimpse/docs.html>

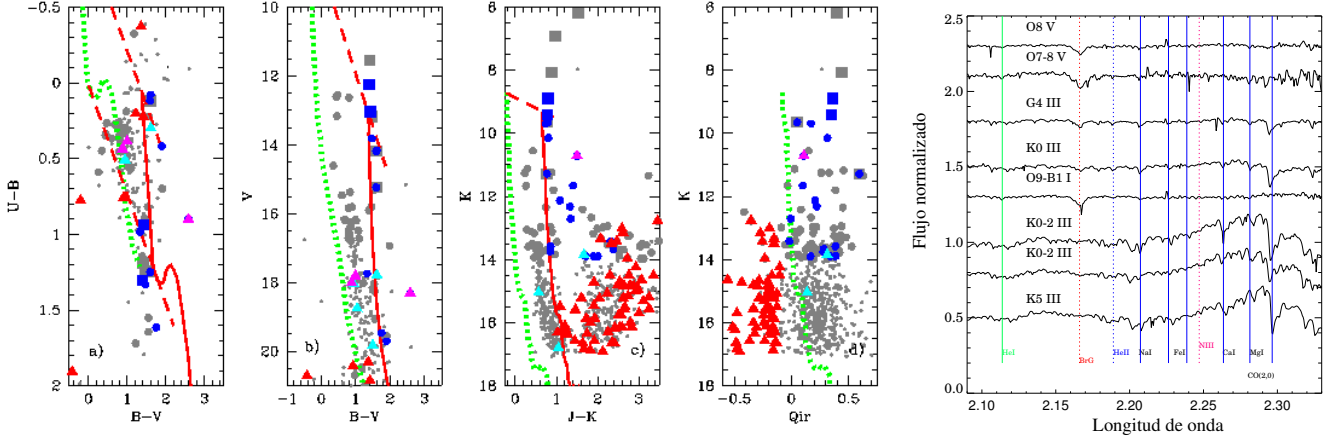


Fig. 2: Diagramas fotométricos de la región de DBS 77. Las curvas verde punteada y roja sólida, indican la posición de la secuencia principal corregidas por el módulo de distancia con y sin enrojecimiento, respectivamente. La línea roja a trazos indica el camino del enrojecimiento normal ( $R = 3.1$ ). Símbolos: cuadrados y círculos, estrellas con y sin clasificación espectral conocida mediante espectros, respectivamente; color gris, estrellas de campo; color rojo, estrellas PMS; color azul miembros OB y colores cian y magenta, objetos estelares jóvenes del MSX y GLIMPSE, respectivamente. Panel d) estrellas con  $Q_{ir} < -0,1$ , PMS y con  $Q_{ir} > -0,1$ , tempranas. Espectros estelares en la región de DBS 77. Se indican las componentes químicas empleadas en la clasificación (líneas verticales) y los tipos espectrales adoptados.

coincidente con la región H II ultra compacta (RH IIUC) *Gum43* y *GRS301,11 + 00,97*, respectivamente. En el caso de DBS 78 se obtuvo un valor  $\alpha = 0,09$ , confirmando este resultado que DBS 78 forma parte de la RH II.

El cúmulo DBS 102 coincide su ubicación en la galaxia con la RH II *G333,0 + 0,8* y DBS 160 y DBS 161 coinciden con la RH IIUC *GRS332,5-00.10*. Para ellos se pudieron obtener los valores de  $\alpha = 0,06$  y  $\alpha = 0,1$ , respectivamente, confirmando también ellos la condición de RH II.

Tabla 1: Parámetros principales de los cúmulos inmersos

ID	(l,b)	OB	R	$(V_o - M_v)^*$	$V_r(LSR)$
DBS	[ $^{\circ}$ , $^{\circ}$ ]		[ $^{\circ}$ ]		[ $\text{km s}^{-1}$ ]
77	(300.96, 1.15)	10	1.7	13.3	-43.0 <sup>(1)</sup>
78	(301.12, 0.97)	3	1.3	13.3	-46.0 <sup>(2)</sup>
102	(332.98, 0.77)	19	1.0	12.8	-52.0 <sup>(3)</sup>
160	(332.53, -0.12)	10	0.7	12.3	-46.7 <sup>(1)</sup>
161	(332.54, -0.14)	25	1.0	12.3	-46.7 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Bronfman et al. (1996); <sup>(2)</sup> -40.8  $\text{km s}^{-1}$ : Bronfman et al. (1996)

<sup>(3)</sup> Kuchar & Clark (1997); \* error = 0.5

#### 4. Trabajo Futuro

Los cúmulos aquí presentados serán estudiados con más detalle, con el objetivo de estimar otros parámetros como sus edades y distribuciones de masa. Además, se aplicará esta metodología de estudio a otros cúmulos del cuarto cuadrante de la Galaxia. Se pretende de esta forma, mejorar la información de la estructura de la Vía Láctea y la interacción de los grupos estelares jóvenes con el MIE.

*Agradecimientos:* MAC, GLB, JAP, LAS y JCT agradecen a CO-

NICET (PIPs 112-201201-00226 y 112-201101-00301). JB, SRA y RK agradecen al *Ministry of Economy, Development, and Tourism's Millennium Science Initiative IC12009*, concesión *The Millennium Institute of Astrophysics* y a los subsidios del Fondecyt Regular N $^{\circ}$  1120601, 1130140 y 3140605. Agradecemos al Dr. Marcelo Arnal por los comentarios aportados a los autores para mejorar este trabajo. Agradecemos al referee de este artículo por las correcciones propuestas al mismo.

#### Referencias

- Baume G., et al., 2014, *MNRAS*, 443, 411  
 Bronfman L., Nyman L.-A., May J., 1996, *A&AS*, 115, 81  
 Chené A.-N., et al., 2012, *A&A*, 545, A54  
 Dutra C. M., et al., 2003, *A&A*, 400, 533  
 Egan M. P., et al. 2003, *VizieR Online Data Catalog*, 5114  
 Fich M., Blitz L., Stark A. A., 1989, *ApJ*, 342, 272  
 Koornneef J., 1983, *A&A*, 128, 84  
 Kuchar T. A., Clark F. O., 1997, *ApJ*, 488, 224  
 Liermann A., Hamann W.-R., Oskinova L. M., 2009, *A&A*, 494, 1137  
 McClure-Griffiths N. M., et al., 2005, *ApJS*, 158, 178  
 Meyer M. R., et al., 1998, *ApJ*, 508, 397  
 Rayner J., Cushing M., Vacca W., 2009, *ApJS*, 185, 289  
 Saito R. K., et al., 2012, *A&A*, 537, A107  
 Schmidt-Kaler T., 1982, In *Landolt-Bornstein New Series*, Group VI. Vol. 2b., eds. K. Schaifers & H. H. Voigt  
 Skrutskie M. F., et al., 2006, *AJ*, 131, 1163  
 Wallace L., Hinkle K., 1997, *ApJS*, 111, 445