

Análisis del gas molecular presente en la zona de colisión de cáscaras y supercáscaras de H I

L.A. Suad¹, S.B. Cárdenas^{1,2}, A.B. Blanco^{1,2}, N.U. Duronea³ & S. Cichowski¹

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

³ Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

Contacto / lausuad@gmail.com

Resumen / Las cáscaras y supercáscaras de H I son estructuras que se detectan en la emisión de H I como mínimos rodeados por paredes de mayor emisión. Se cree que la expansión y colisión de las mismas puede inducir a la formación de gas molecular en las zonas de colisión que son comprimidas, pero existen pocos ejemplos observacionales de este fenómeno. En este trabajo buscamos evidencia de gas molecular que podría haber sido formado por la acción de choques de cáscaras y supercáscaras. A partir de datos de H I del relevamiento HI4PI en un área rectangular de $\sim 5^\circ$ de lado, centrada en $(l, b) = (107^\circ, -3^\circ)$, se detectaron varias cáscaras y supercáscaras en el rango de velocidad entre -45 y -67 km s⁻¹ que podrían estar en colisión. Usando datos de la emisión de CO obtenidos del relevamiento del FCRAO hemos detectado gas molecular en la zona de colisión de las cáscaras y supercáscaras. En este trabajo presentamos un estudio preliminar sobre las características de las estructuras de H I y de las las nubes moleculares presentes en esta región de la galaxia.

Abstract / The H I shells and supershells are structures detected in the H I emission distribution as minima surrounded by walls of enhanced emission. It is believed that their expansion and collision can induce the formation of molecular gas in the collision zones that are compressed, but there exist few observational examples of this phenomenon. In this work, we search for evidence of molecular gas that could have been created for the action of shell and supershell collisions. Based on H I data from the HI4PI survey in a rectangular area of $\sim 5^\circ$ per side, centered at $(l, b) = (107^\circ, -3^\circ)$, several shells and supershells were detected in the velocity range between -45 and -67 km s⁻¹ that could be in collision. Using CO emission data obtained from the FCRAO survey, we have identified molecular gas in the collision zone of the shells and supershells. In this work, we present a preliminary study on the characteristics of the H I structures and of the molecular clouds present in this region of the Galaxy.

Keywords / ISM: bubbles — ISM: clouds — ISM: structure — ISM: kinematics and dynamics

1. Introducción

En la Vía Láctea se observan grandes estructuras conocidas como supercáscaras (GS, por sus siglas en inglés) que se detectan principalmente en la línea de emisión del hidrógeno neutro (H I). Las mismas se caracterizan por presentar, en la distribución de la emisión del H I y en un dado rango de velocidad, un mínimo rodeado total o parcialmente por paredes de mayor emisión, con dimensiones que van desde los 200 pársecs hasta incluso kilopársecs. Suad et al. (2014) elaboraron un catálogo de estructuras candidatas a ser GSs de H I donde se detectaron un total de 566 GSs.

La expansión supersónica de las GSs genera zonas de alta densidad que pueden inestabilizarse dando lugar a regiones donde podría tener lugar la formación estelar. Por otro lado, modelos y simulaciones numéricas sugieren que la expansión y colisión de las GSs puede inducir a la formación de gas molecular en las zonas de colisión que son comprimidas. Por ejemplo Inutsuka et al. (2015) desarrollaron un modelo donde proponen que la formación de nubes moleculares está dominada por la evolución de burbujas. Ellos proponen un modelo multigeneracional de formación de nubes moleculares en las

interfases de GSs que se encuentran en colisión. A su vez, simulaciones magnetohidrodinámicas desarrolladas por Inoue & Inutsuka (2008, 2009) han demostrado que la formación de nubes moleculares requiere múltiples episodios de compresión supersónica. Sin embargo, existen aún pocos ejemplos observacionales de este fenómeno (por ej. Dawson et al., 2015; Fujii et al., 2021). En este trabajo presentamos un análisis de una región que presenta varias supercáscaras donde buscamos evidencia de gas molecular que podría haber sido formado por la acción de choques de las mismas.

2. Datos

Los datos de H I se obtuvieron del relevamiento de HI4PI (HI4PI Collaboration et al., 2016) y del *Canadian Galactic Plane Survey* (CGPS, Taylor et al., 2003). HI4PI y CGPS tienen una resolución angular de $16.2''$ y $\sim 1''$ y una resolución en velocidad de 1.49 km s⁻¹ y 0.83 km s⁻¹, respectivamente.

Los datos de la emisión de CO (1–0) se obtuvieron del relevamiento del *Five College Radio Astronomical Observatory* (FCRAO, Heyer et al., 1998). La resolu-

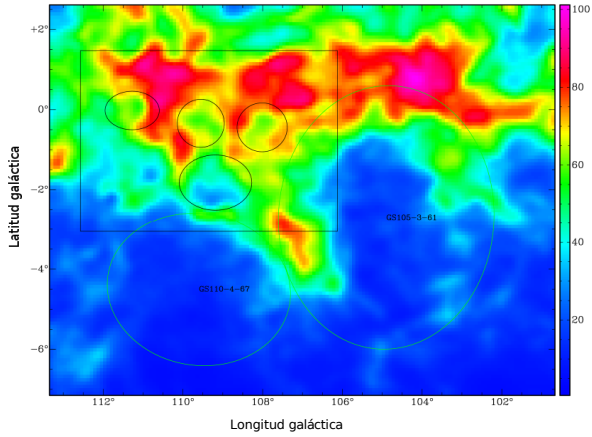


Figura 1: Imagen de la emisión de H I del relevamiento HI4PI promediada en el rango de velocidad entre -50 y -57 km s^{-1} . Las elipses negras y verdes marcan la presencia de cáscaras y supercáscaras, respectivamente. El rectángulo marcado en líneas negras indica la zona donde se detecta la emisión de CO del relevamiento del FCRAO mostrada en la Fig. 2.

ción angular es de $45''$, la resolución en velocidad es de 0.98 km s^{-1} .

3. Región bajo estudio

En la Fig. 1 se muestra la distribución de la emisión de H I de HI4PI promediada en el rango de velocidad entre -50 y -57 km s^{-1} en una zona del segundo cuadrante galáctico centrada en $(l, b) \sim (107^\circ, -3^\circ)$ de $\sim 13^\circ \times 8^\circ$ de extensión en longitud y latitud galácticas, respectivamente. En esa región se observan varias cáscaras y supercáscaras que, de acuerdo a las velocidades en que se las detecta, podrían estar colisionando. GS 105–03–061 y GS 110–04–067, marcadas con elipses en color verde en la figura, son dos GSs pertenecientes al catálogo de (Suad et al., 2014). A su vez, en la zona se observan cuatro estructuras de tamaños menores, que denominaremos como cáscaras, marcadas con elipses negras en la Fig. 1. Éstas cumplen con todos los criterios establecidos por Suad et al. (2014) para ser consideradas GSs, con la excepción que su tamaño lineal es inferior a 200 pc.

En la Fig. 2 se muestra la distribución de la emisión del CO promediada en el mismo rango de velocidad que el H I, de la región marcada con un rectángulo en la Fig. 1. Como se observa en la imagen, en esta región hemos identificado ocho nubes moleculares que se encuentran proyectadas sobre las zonas de interfase de las cáscaras y GSs.

4. Resultados preliminares y discusión

Para caracterizar las cáscaras y GSs hemos estimado sus parámetros físicos. Para ello, utilizamos los datos de CGPS y HI4PI para las cáscaras y GSs, respectivamente. Si suponemos una expansión simétrica con una velocidad de expansión, V_e , en un diagrama posición-posición una cáscara/supercáscara alcanza su máxima

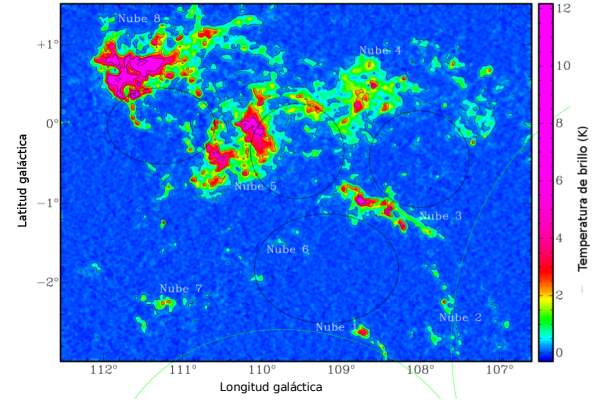


Figura 2: Imagen de la emisión de CO promediada en el rango de velocidad entre -50 y -57 km s^{-1} . Las elipses negras y parte de las elipses verdes son las mismas que se muestran en la Fig. 1.

dimensión a la velocidad sistémica, V_0 , mientras que a velocidades extremas, ya sea acercándose ($V_m = V_0 - V_e$) or alejándose ($V_M = V_0 + V_e$), debería verse como un casquete de emisión. Teniendo esto en cuenta, determinamos el rango de velocidad, $\Delta V = |V_M - V_m|$, donde las estructuras de H I son detectadas. Las distancias de las estructuras fueron estimadas siguiendo el modelo de rotación galáctica de Fich et al. (1989). Luego, siguiendo el procedimiento descrito por Suad et al. (2016), estimamos la masa gaseosa total, M_t , de cada estructura de H I. También estimamos sus energías cinéticas, $E_k = 0.5 M_t V_e^2$, sus radios efectivos $R_{\text{ef}} = \sqrt{ab}$ (siendo a y b los semiejes mayor y menor de cada estructura) y sus edades dinámicas $t_{\text{dim}} = R_{\text{ef}}/V_e$. Todos estos resultados se encuentran listados en la Tabla 1.

Para identificar las nubes moleculares presentes en las zonas de interfase de cáscaras y GSs, inspeccionamos el cubo de emisión de CO en un rango de velocidades próximo al de la emisión de H I. Se determinaron las velocidades centrales, V , y los anchos en velocidad, Δv , aproximados donde detectamos emisión correspondiente a distintas nubes, con los cuales obtuvimos los mapas de emisión de CO promediados en el rango de velocidad de cada nube. Considerando la emisión por encima de 3σ y siguiendo el procedimiento detallado en Cárdenas et al. (2022), obtuvimos los parámetros físicos correspondientes a las ocho nubes moleculares identificadas, resumidos en la Tabla 2.

El trabajo observacional realizado por Dawson et al. (2015) es uno de los pocos que hay actualmente donde se analiza el fenómeno de formación de una nube molecular gigante inducida por el choque de dos GSs. Estas últimas, denominadas Carina OB2 y GSH 287+04-17, ya habían sido estudiadas individualmente por Rizzo & Arnal (1998) y Dawson et al. (2008), respectivamente. Realizando una comparación entre los resultados obtenidos en este estudio y los obtenidos por los mencionados autores, vemos que las GSs tienen valores de masa y energía similares. Respecto a los valores estimados para las masas de las nubes moleculares, para las nubes de mayor masa, los valores son comparables al calculado por Dawson et al. (2015).

Tabla 1: Parámetros físicos de las estructuras de H I. Los errores en V_0 son iguales a la resolución en velocidad de los datos utilizados (δV), el error en ΔV es $2\delta V$, el error en el R_{ef} es $\sim 16\%$, el error en la distancia es $\sim 20\%$, el error en la t_{din} es $\sim 30\%$, el error en M_t es $\sim 50\%$ y el error en E_k es $\sim 64\%$.

Cáscara/GS	long. [grados]	lat. [grados]	V_0 [km s $^{-1}$]	ΔV [km s $^{-1}$]	R_{ef} [pc]	Dist. [kpc]	t_{din} [Myr]	M_t [M_{\odot}]	E_k [erg]
GS 105–03–061	105	–3.0	–56.7	15.5	307	5.9	39.6	4.8×10^5	2.9×10^{50}
GS 110–04–067	110	–4.0	–56.7	18.0	218	5.5	24.2	2.1×10^5	1.7×10^{50}
G 108–0.4–057	108	–0.37	–57.0	10.0	63	5.7	12.6	2.9×10^4	7.3×10^{48}
G 109–02–056	109.2	–1.8	–55.5	10.0	85	5.4	17.0	5.4×10^4	1.3×10^{49}
G 110–0.3–051	109.6	–0.3	–51.0	13.8	53	4.9	7.7	3.3×10^4	1.6×10^{49}
G 111+0.0–060	111.3	0.0	–59.6	14.0	58	5.8	8.3	1.0×10^4	4.9×10^{48}

Tabla 2: Parámetros físicos de las nubes detectadas de CO. El error en la estimación de V es igual a la resolución en velocidad de los datos (δvel), el error en Δvel es de $2\delta \text{vel}$, el error en la distancia es $\sim 20\%$, el error en la densidad columnar es de $\sim 30\%$ y el error en la masa es de $\sim 50\%$.

Nube molecular	long. [grados]	lat. [grados]	V [km s $^{-1}$]	Δvel [km s $^{-1}$]	Dist [kpc]	$N(\text{H}_2)$ [cm $^{-2}$]	$M(\text{H}_2)$ M_{\odot}
Nube 1	108.7	–2.6	–55.0	8	5.4	1.2×10^{21}	3.4×10^4
Nube 2	107.6	–2.7	–54.1	8	5.4	6.5×10^{21}	4.4×10^4
Nube 3	108.5	–1.0	–51.5	13	5.0	2.5×10^{21}	4.4×10^5
Nube 4	108.8	0.4	–51.0	16	5.0	2.6×10^{21}	4.6×10^5
Nube 5	110.2	–0.2	–51.0	16	5.0	3.4×10^{21}	7.7×10^5
Nube 6	109.7	–1.4	–48.1	7	4.6	2.5×10^{21}	2.2×10^4
Nube 7	111.2	–2.5	–50.9	8	4.8	2.5×10^{21}	3.8×10^4
Nube 8	111.4	0.7	–56.0	15	5.4	2.1×10^{21}	2.7×10^5

5. Conclusiones y trabajo a futuro

Analizando la región del cielo centrada en $(l, b) \sim (107^\circ, -3^\circ)$ de $\sim 13^\circ \times 8^\circ$ de extensión en longitud y latitud galácticas, respectivamente, hemos detectado la presencia de varias cáscaras y GSs que podrían estar colisionando, observándose varias nubes moleculares en las interfaces de las estructuras de H I. Algunas de estas nubes presentan características similares al caso estudiado por Dawson et al. (2015). Se planea a futuro seguir estudiando la dinámica del gas neutro y molecular para poder establecer si el origen del gas molecular puede estar relacionado con la expansión y colisión de las cáscaras y GSs.

Agradecimientos: Para la investigación presentada en este trabajo se han utilizado datos del *Canadian Galactic Plane Survey*, un proyecto canadiense con socios internacionales, respaldado por el *Natural Sciences and Engineering Research Council*. HI4PI se basa en observaciones con el telescopio de 100 m del MPIFR (*Max-*

Planck- Institut für Radioastronomie) en Effelsberg y Parkes Radio Telescope, que es parte del Telescopio de Australia y está financiado por el *Commonwealth of Australia* para operar como una instalación nacional administrada por CSIRO.

Referencias

- Cárdenas S.B., et al., 2022, MNRAS, 509, 3395
Dawson J.R., et al., 2008, MNRAS, 387, 31
Dawson J.R., et al., 2015, ApJ, 799, 64
Fich M., Blitz L., Stark A.A., 1989, ApJ, 342, 272
Fujii K., et al., 2021, MNRAS, 505, 459
Heyer M.H., et al., 1998, ApJS, 115, 241
HI4PI Collaboration, et al., 2016, A&A, 594, A116
Inoue T., Inutsuka S.i., 2008, ApJ, 687, 303
Inoue T., Inutsuka S.i., 2009, ApJ, 704, 161
Inutsuka S.i., et al., 2015, A&A, 580, A49
Rizzo J.R., Arnal E.M., 1998, A&A, 332, 1025
Suad L.A., et al., 2014, A&A, 564, A116
Suad L.A., et al., 2016, A&A, 585, A154
Taylor A.R., et al., 2003, AJ, 125, 3145