

Análisis de la región de formación estelar vinculada a la fuente IRAS 15492-5426

A.V. Corvera¹ & M.A. Corti^{1,2}

¹ *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina*

² *Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET-CICPBA-UNLP, Argentina*

Contacto / victoriacorvera@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / Se realizó un estudio en la región de formación estelar vinculada a la fuente IRAS 15492-5426 ubicada en el complejo G327.3-0.5. Este consiste de una nube molecular oscura en la cual ya ha sido investigada la emisión de sus moléculas empleando las bandas espectrales de radio e IR. En este trabajo se presenta el estudio de la región de hidrógeno ionizado (RH II) RCW97 ubicada en el borde del complejo. Para ello se realizó el análisis de imágenes provenientes de los relevamientos en radio: emisión del H I en la línea espectral en 21 cm (*Southern Galactic Plane Survey*, SGPS) y continuo de radio en 843 MHz (*Sydney University Molonglo Sky Survey*, SUMSS). Con el primero, resultó posible investigar la velocidad radial de la RH II; con ella y el empleo de modelos de rotación galáctica, pudo conocerse su distancia cinemática. Se estimaron también parámetros como temperatura de brillo, densidad electrónica y masa. Con el segundo se midió la densidad de flujo de la RH II en 843 MHz que junto a los valores de flujo ya publicados en otras frecuencias, permitió conocer el índice espectral y la frecuencia a la cual esta región sería ópticamente delgada. Se investigó qué características espectrales deben tener las estrellas que se formen en el complejo para generar la RH II, calculando para ello el parámetro de excitación de la RH II.

Abstract / A study was conducted on the star formation region linked to the IRAS source 15492-546 located in the complex G327.3-0.5. This one consists of a dark molecular cloud in which the emission of their molecules has been studied using spectral bands on radio and IR. In this work we present the study of the ionized hydrogen region (RH II) RCW 97 located at the edge of the complex. For this, images of 21 cm H I spectral line emission from the Southern Galactic Plane Survey (SGPS) and images of continuum from the Sydney University Molonglo Sky Survey (SUMSS), were analyzed. With the first kind of data we were able to investigate the radial velocity of the H II region, with it and models for the galactic rotation we could find its kinematic distance. Parameters such as bright temperature, electronic density and mass were also estimated. With the data of the second survey we measured the flux density of RCW97 in 843 MHz which along with values of flux density from the other frequencies allowed us to know the spectral index and the frequency at which this region would be optically thin. We investigated what spectral characteristics the stars that form in the complex should have to generate the H II region, calculating the excitation parameter of the H II region.

Keywords / ISM: H II regions — galaxies: star formation — radio continuum: ISM

1. Introducción

Las regiones de formación estelar suelen presentarse como zonas complejas constituidas por nubes moleculares con regiones de distinta densidad. En sus núcleos de gas molecular denso tiene lugar la formación de las estrellas que calientan e ionizan al medio. El complejo G327.3-0.6 consiste de una nube molecular oscura rodeada por burbujas infrarojas (IR) y dos regiones de hidrógeno ionizado (RH II). Una de ellas es la RH II RCW 97, la cual se ubica en el borde del complejo en dirección NO, como se evidencia de la primera imagen de G327.3-0.6 en 450 micrones estudiada por Minier et al. (2009).

Estudios submilimétricos efectuados en el núcleo caliente y masivo del complejo G327.3-0.6 mostraron diferentes estados de evolución estelar (Wyrowski et al., 2006). Así mismo, la velocidad radial medida en la emisión de CO registrada de RCW 97 y en todo el complejo G327.3-0.6, resultó ser igual, mostrando que la RH II es parte del complejo de formación estelar (Minier et al., 2009). En este trabajo analizamos la RH II, RCW 97,

empleando diferentes frecuencias de radio (Fig. 1) para ampliar así la cantidad de parámetros conocidos de la misma.

2. Datos

El relevamiento *Sydney University Molonglo Sky Survey* (SUMSS; Sadler & Hunstead 2001) provee datos en el continuo de radio a una frecuencia de 843 MHz con una resolución espacial (ancho completo a mitad de altura FWHM, por su sigla en inglés) de $\approx 43'' \times 50''$ y una sensibilidad de ≈ 6 mJy beam⁻¹. El relevamiento *Southern Galactic Plane Survey* (SGPS I; McClure-Griffiths et al. 2005), provee datos en 21 cm con una resolución en velocidad de $\Delta V = 0.82$ km s⁻¹, un ruido (rms) de ≈ 1 K en la temperatura de brillo (T_b) y FWHM $\approx 2'$. Se utilizaron datos publicados en 5000 MHz de densidad de flujo, $S_\nu = 32$ Jy y temperatura electrónica, $T_e = 4700$ K (Caswell & Haynes, 1987) y en 843 MHz, $S_\nu = 11$ Jy y $T_e = 6048$ K (Shaver & Goss, 1970).

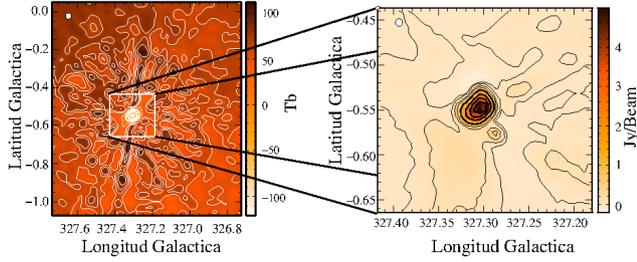


Figura 1: *Panel izquierdo*: Mapa de H I en 21 cm obtenido con el promedio de 74 canales de V_{LSR} centrados en RCW 97. Los contornos de T_b son de 0, 30, 55, 65, 75, 90 y 105 K. *Panel derecho*: Mapa en 843 MHz del flujo de energía de RCW 97. Los contornos muestran una densidad de flujo de 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 3 y 4 Jy beam^{-1} . Los círculos blancos en la esquina superior izquierda muestran la resolución angular del dato.

3. Análisis de los datos y Resultados

Se trabajó con las imágenes de HI centradas en $(l, b) = (327.3^\circ, -0.5^\circ)$ y extraídas del cubo de datos del relevamiento SGPS. Se seleccionaron 74 mapas con valores de velocidad radial en el Sistema Local de Referencia (LSR) comprendidos en el rango $-58 < V_r < 0 \text{ km s}^{-1}$, debido a que de la investigación efectuada por Minier et al. (2009) a la emisión de $^{12}\text{CO}(3-2)$ en la RH II RCW 97, se sabía que la V_r de esta última era de aproximadamente -50 km s^{-1} .

El panel izquierdo de la Figura 1 es el mapa promedio obtenido con las 74 imágenes de H I que se comentan. En ella se observa una muy evidente absorción indicada en color claro dentro del recuadro blanco central, la cual es consecuencia de que su temperatura de spin (T_s), sea menor a la temperatura de continuo (T_c) de la RH II que se encuentra por detrás. El panel derecho de la Figura 1 es el mapa en continuo de radio a 843 MHz en el cual se analizó la densidad de flujo (843 MHz) de la RH II RCW 97, mostrando un valor máximo en la ubicación de la misma, coincidente con la fuente IRAS 15492-5462.

Pudo confirmarse que en la proximidad inmediata de la RH II no se observaban otras regiones de H II y se obtuvieron valores medios de 843 MHz de tres puntos muy próximos al lugar ocupado por RCW 97. Luego, se promediaron esos valores obteniendo una $S_{843\text{Mhz}}$ y se calculó un valor rms del mismo, el cual fue considerado como una medida del ruido. El valor límite de emisión del fondo con el que se trabajó fue de $3 \text{ ruido} = 1.3 \times 10^{-2} \text{ Jy}$. Al valor de 843 MHz medido inicialmente para RCW 97 se le restó el valor obtenido $S_{843\text{Mhz}}$ resultando finalmente una $S_{843} = 16.00 \pm 0.02 \text{ Jy}$ para RCW 97.

Con el objetivo de confirmar la emisión térmica de la región H II y la frecuencia a la cual la misma resulta ópticamente delgada, se estudió la relación $S \approx \nu^\alpha$ ajustando los valores de S_ν obtenidos en las frecuencias 408 MHz (Shaver & Goss, 1970), 843 MHz y 5000 MHz (Caswell & Haynes, 1987). El valor encontrado para el índice espectral es $\alpha \approx 0.4$ el cual es característico de una fuente con emisión térmica.

En la Fig. 2 se muestra el ajuste realizado, que evidencia que la frecuencia conocida como *turn-over* (para la cual la profundidad óptica vale $\tau = 1$) se encontraría

comprendida en el rango 843 – 5000 MHz. Este resultado coincide con el valor $\nu = 2000$ o 2300 MHz obtenido empleando la ec. A.1.b de Mezger & Henderson (1967) proponiendo $\tau = 1$, la ME obtenida con $\nu = 5000 \text{ MHz}$ y $T_e = 6048$ o 4700 K, respectivamente. De este modo, se concluye que la región RCW 97 es ópticamente gruesa en las frecuencias de 408 y 843 MHz y ópticamente delgada en 5000 MHz.

La Figura 3 es el mapa latitud galáctica vs. velocidad radial de H I a 21 cm para una longitud galáctica = 327.311° . En el mapa se observa un mínimo en la temperatura de brillo que se extiende de $+0$ a -55 km s^{-1} , con una emisión de H I entre -20 y -35 km s^{-1} . Esta última se correspondería con la ubicación del brazo galáctico Sagittarius-Carina de acuerdo al trabajo de Vallée (2008). El valor de $V_r \approx -55 \text{ km s}^{-1}$ donde comienza a observarse la absorción de H I podría deberse a la ubicación en la galaxia de la RH II RCW 97, coincidente con el brazo Scutum-Crux de acuerdo al trabajo de Vallée (2008) y a su distancia de $3.3 \pm 0.5 \text{ kpc}$, obtenida con el empleo de los modelos de rotación galáctica de Fich et al. (1989) y Brand & Blitz (1993). Conociendo la ambigüedad en la distancia que se presenta en el cuarto cuadrante de la Galaxia, se vió que no se observaba más absorción de H I entre -55 km s^{-1} y la velocidad terminal de $\approx -100 \text{ km s}^{-1}$, justificando ello que la distancia correcta de la RH II es la de valor mínimo encontrado en los modelos de rotación galáctica mencionados.

Se estudió también el tamaño angular de RCW 97. Para ello se obtuvo el espectro mostrado en la Fig. 4 donde el *half-power beamwidth* (HPBW) medido de $2.8'$ es el tamaño angular observado de la RH II como consecuencia de la convolución producida entre el tamaño angular real θ_{sph} y el tamaño angular del haz $\theta_l = \theta_b = 2.2'$ empleado en los datos del relevamiento SGPS. Obteniendo finalmente el tamaño angular real de la RH II, $\theta_{sph} = 1.7'$, el cual resulta algo mayor al $\theta_{sph} \approx 1'$ encontrado por Caswell & Haynes (1987). Conociendo el tamaño angular real de la fuente, pudimos estimar la distribución gaussiana de la densidad $\theta_G = \theta_{sph}/1.471$ (Caswell & Haynes, 1987), para con ello y la distancia de RCW 97 al observador encontrar el valor de su radio lineal de Strömgren, $R_S = 0.8 \text{ pc}$.

Otros parámetros tales como la densidad electrónica, N_e , la masa de hidrógeno ionizado, M_{HII} y la medida de emisión de la región, ME, fueron calculados empleando las ecuaciones para modelos esféricos de regiones de hidrógeno ionizado del trabajo de Mezger & Henderson (1967). Dichas ecuaciones son válidas para regiones ópticamente delgadas en la frecuencia en estudio, ante la posibilidad de que la región resulte ópticamente gruesa para $\nu = 408$ y 843 MHz, se estaría trabajando con una cota inferior del valor de flujo de la RH II. Esta sería una posible explicación a la dependencia con la frecuencia de los resultados presentados en la Tabla 1. El parámetro de excitación, $\mu = R_S N_e^{2/3}$ se estudia para conocer la cantidad de fotones Lyman que necesitó absorber el H I de la región para que pudiera originarse RCW 97.

Los valores de cada uno de los parámetros que aquí se mencionan han sido calculados en función de la frecuencia en la que se obtuvieron las imágenes y distintos valores de T_e . Así, la Tabla 1 presenta estos resulta-

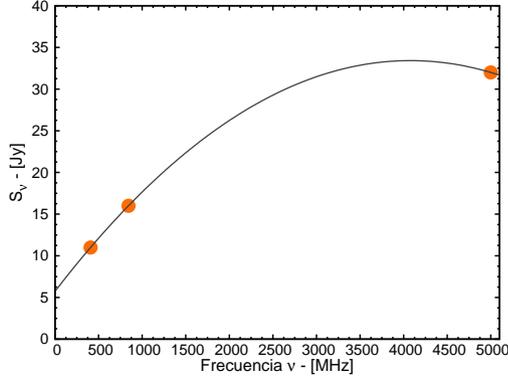


Figura 2: Ajuste efectuado a la densidad de flujo resultante del análisis en las frecuencias 408, 843 y 5000 MHz (ver Tabla 1). El índice espectral obtenido fue $\alpha \approx 0.4$. Región ópticamente delgada para $\nu = 5000$ MHz.

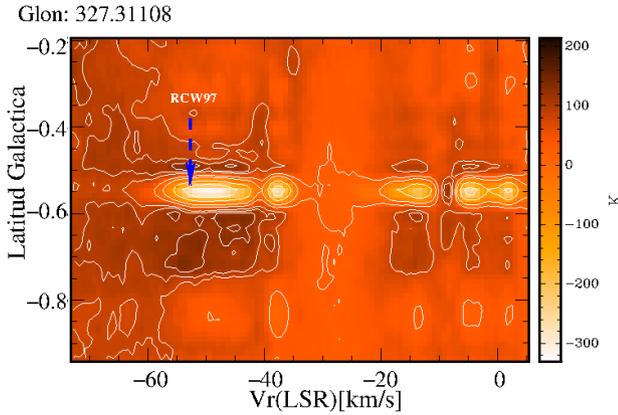


Figura 3: Distribución del HI en la longitud galáctica $\approx 327.311^\circ$. Los colores más claros indican la absorción del HI en la línea de la visual. Los contornos de T_b varían con paso de 15 K. La RH II RCW 97 se ubicaría donde comienza la absorción de HI a una $V_r \approx -50 \text{ km s}^{-1}$.

dos indicando con $\nu^{(1)}$ los valores correspondientes a $T_e = 4700 \text{ K}$ (Caswell & Haynes, 1987) y con $\nu^{(2)}$ los valores correspondientes a $T_e = 6048 \text{ K}$ (Shaver & Goss, 1970). Para cada cantidad, el valor informado entre paréntesis es el error de cada medida.

4. Conclusiones preliminares

Destacamos a continuación las primeras conclusiones principales de esta investigación:

- Se profundizó el estudio de la RH II RCW 97 en el complejo G327.3-0.5 analizando el medio interestelar en frecuencias de radio en 1420 MHz (línea) y en 408, 843 y 5000 MHz (continuo). Con ello se confirmó la emisión térmica de RCW 97 y se estudió la profundidad óptica del medio para esas frecuencias.
- Se amplió la cantidad de parámetros conocidos de la región de formación estelar vinculada a la fuente

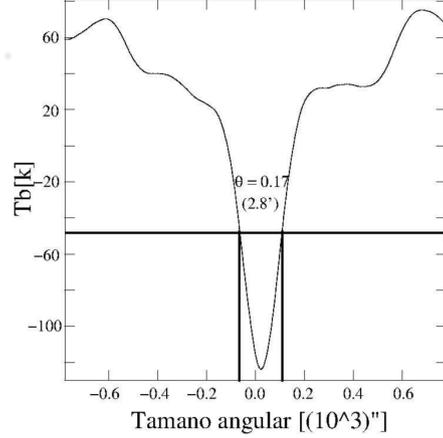


Figura 4: Perfil del corte realizado a 45° dirección NE-SW en el panel izquierdo de la Fig.1. El tamaño angular observado para RCW 97 es HPWB $\approx 2.8'$.

Tabla 1: Parámetros obtenidos del análisis de la RHII RCW 97 en distintas frecuencias.

ν [MHz]	S_ν [Jy]	μ [pc cm $^{-2}$]	N_e [cm $^{-3}$]	Masa [M_\odot]	ME(10^5) [pc cm $^{-6}$]
5000 ⁽¹⁾	32	91(31)	2597(241)	30(14)	65(17)
843 ⁽¹⁾	16	68(23)	758(70)	43(19)	9(2)
408 ⁽²⁾	11	60(21)	430(40)	52(24)	4(1)
843 ⁽²⁾	16	70(24)	792(73)	45(20)	10(3)

IRAS 15492-5426.

- Al obtener el valor del parámetro de excitación de la RH II RCW 97 quedó en evidencia que entre las estrellas que se están formando en el lugar, hay tipos espectrales O7 V cuyo parámetro de ionización $U \approx 67 \text{ pc cm}^{-2}$ o más tempranas (Smith et al., 2002).

Agradecimientos: Este trabajo ha sido parcialmente financiado por PIP 112-201701-00507 (CONICET) y PPIID G005 (UNLP). Se han utilizado las herramientas KVIS (KARMA) y AIPS. Los autores deseamos agradecer los comentarios y sugerencias del árbitro que ayudaron a mejorar la versión original del trabajo.

Referencias

- Brand J., Blitz L., 1993, A&A, 275, 67
 Caswell J.L., Haynes R.F., 1987, A&A, 171, 261
 Fich M., Blitz L., Stark A.A., 1989, ApJ, 342, 272
 McClure-Griffiths N.M., et al., 2005, ApJS, 158, 178
 Mezger P.G., Henderson A.P., 1967, ApJ, 147, 471
 Minier V., et al., 2009, A&A, 501, L1
 Sadler E.M., Hunstead R.W., 2001, R. Clowes, A. Adamson, G. Bromage (Eds.), *The New Era of Wide Field Astronomy, Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 232, 53
 Shaver P.A., Goss W.M., 1970, AuJPA, 17, 133
 Smith L.J., Norris R.P.F., Crowther P.A., 2002, MNRAS, 337, 1309
 Vallée J.P., 2008, AJ, 135, 1301
 Wyrowski F., et al., 2006, A&A, 454, L91