

INTRODUCCIÓN

El medio interestelar (MIE), compuesto de gas y polvo, está en permanente cambio. Las estrellas masivas ($> 8M_{\odot}$) son uno de los principales agentes que lo transforman, ya que su intensa radiación ionizante y sus poderosos vientos generan regiones HII y burbujas interestelares. La forma y evolución de estas estructuras dependen, entre otros factores, del estado evolutivo de la estrella (ya que su viento cambia a lo largo de las diferentes fases), de su velocidad espacial y de su multiplicidad.

En este trabajo presentamos un estudio multifrecuencia de la región HII Sh2-162, enfocado en la caracterización del gas atómico, molecular e ionizado, junto con el polvo que lo acompaña.

REGIÓN SH2-162

La región Sh2-162 está ubicada en el brazo de Perseo, en $(l, b) = (112^{\circ}.213, 0^{\circ}.226)$ y a una distancia de 2.83 ± 0.10 kpc (Bailer-Jones et al. 2021).

La estrella asociada a esta región es BD+60 2522, una gigante de tipo espectral O6.5III (Foster & Brunt 2015).

En la Figura 1, que muestra la emisión en el óptico, se observa una zona de emisión intensa con mucha subestructura. Se destacan un arco y dos cáscaras esféricas. La más pequeña de estas cáscaras tiene un diámetro aproximado de 3 arcmin y está bien definida, mientras que la segunda es más difusa, con un diámetro de cerca de 7 arcmin. Es importante destacar que BD+60 2522 no se encuentra en el centro de estas estructuras, sino desplazada hacia el borde más intenso, lo que sugiere que la estrella ha estado moviéndose con respecto al gas circundante.

A partir de los movimientos propios obtenidos con GAIA ($\mu_{\alpha}, \mu_{\delta}$) = $(-2.662 \pm 0.016, 0.388 \pm 0.017)$ mas/año, calculamos las componentes de su velocidad peculiar en coordenadas galácticas, obteniendo $(v_p, v_b) = (17.8 \pm 7.3, 25.8 \pm 2.2,)$ km s⁻¹ (ver la flecha roja en Fig.1).

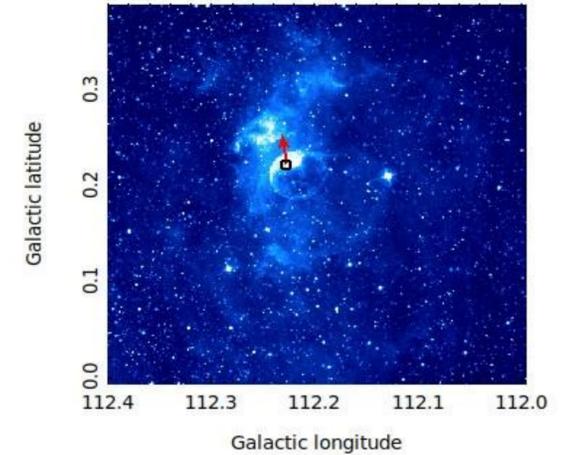


Figura 1: Imagen en el óptico, obtenida del DSS2, de la región Sh2-162. El círculo negro indica la ubicación de BD +60 2522 y la flecha roja la dirección de su velocidad peculiar.

EMISIÓN A 1420 MHZ

Utilizando datos del continuo de radio a 1420 MHz estudiamos la emisión por radiación de frenado de la región HII.

En la Figura 2 se distingue claramente la región HII aunque es difícil identificar las subestructuras presentes en el óptico debido a la diferencia de resolución angular entre ambos relevamientos.

A partir de esta imagen, estimamos un tamaño angular de $0^{\circ}.5 \pm 0^{\circ}.1$ para Sh2-162 y calculamos su temperatura media ($T_{\text{mean}} = 10.4$ K) y la del fondo ($T_{\text{bg}} = 8.1$ K), con las cuales estimamos el flujo de la región $S_{1420} = 9.7 \pm 0.4$ Jy.

Adoptando una temperatura electrónica de 8641 ± 118 K (Balsler et al. 2011) y asumiendo una distribución esférica, utilizamos las ecuaciones de Mezger & Henderson (1967) para calcular los siguientes parámetros: la densidad electrónica es $n_e = 9.5 \pm 4.0$ cm⁻³, la masa de gas ionizado es $1910 \pm 860 M_{\odot}$, y se requieren aproximadamente $(6.5 \pm 0.5) \times 10^{48}$ fotones por segundo para mantener la región ionizada.

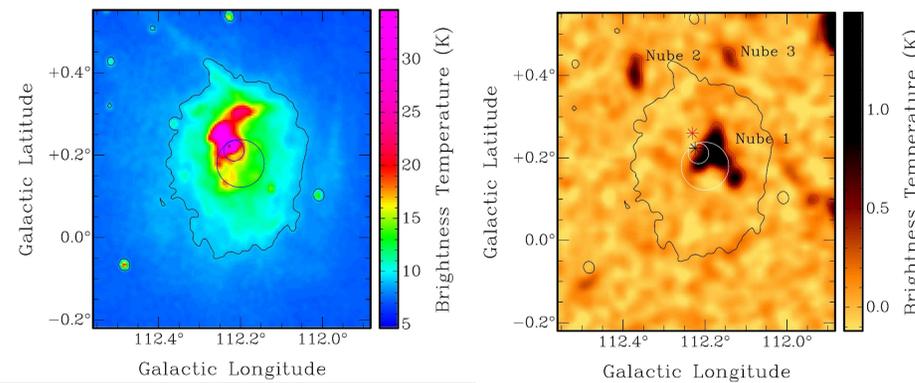


Figura 2: Imagen de Sh2-162 en el continuo de radio a 1420 MHz obtenida del CGPS. El contorno corresponde a 8.1 K. La resolución angular es 1 arcmin. Los dos círculos azules indican la posición de las estructuras esféricas identificadas en la imagen óptica. El círculo pequeño negro marca la posición de la estrella BD +60 2522.

Figura 4: Imagen de CO(1-0) (obtenida del FCRAO) promediada entre -42.7 y -48.5 km s⁻¹. El contorno negro corresponde a la emisión en el continuo de 1420 MHz (igual al de la Fig. 2). Los asteriscos rojo y negro marcan la posición de la región CHII y del MYSO, respectivamente. El contorno rojo representa un nivel de emisión de 0.3 k.

EMISIÓN DE LA LÍNEA DE HI

La línea de 21 cm, originada por la transición hiperfina del nivel fundamental del átomo de hidrógeno neutro (HI), nos permite estudiar la distribución y dinámica del gas neutro en la región. En la Figura 3, se observa una mayor emisión de HI rodeando el gas ionizado, lo que sugiere que la estrella ha desplazado el material neutro circundante, formando una cáscara en expansión.

A partir del análisis de estos datos, calculamos los siguientes parámetros:

La estructura es detectable en un intervalo de velocidad $\Delta v = 11.6$ km s⁻¹, la masa de HI en la cáscara es de $400 \pm 90 M_{\odot}$ y su velocidad de expansión es de 5.8 ± 1.0 km s⁻¹. A partir de estos valores inferimos una energía cinética de $E_k = (1.0 \pm 0.6) \times 10^{47}$ erg.

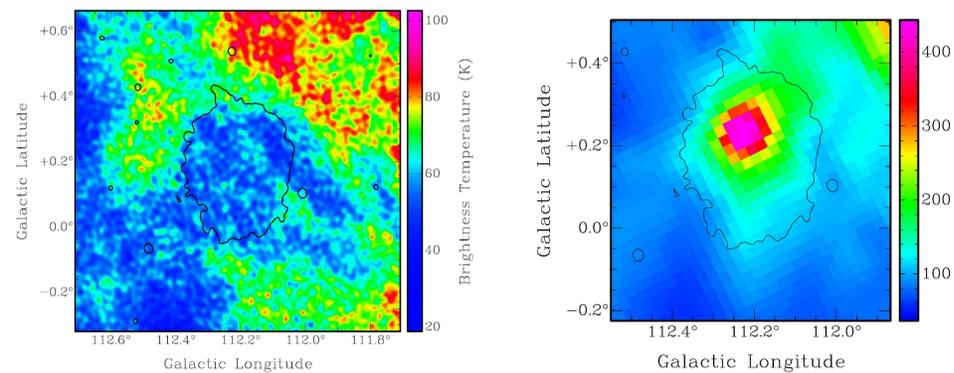


Figura 3: Imagen de la emisión del HI, obtenida del CGPS, promediada entre -51 y -54 km s⁻¹. El contorno corresponde a la emisión en el continuo de 1420 MHz (igual al de la Fig. 2).

Figura 5: Imagen de la emisión a 100 μm de Sh2-162, obtenida de IRIS. El contorno corresponde a la emisión en el continuo de 1420 MHz (ver Fig. 2).

Tabla 1	$N(\text{H}_2)$ [cm ⁻²]	$M(\text{H}_2)$ [M_{\odot}]	$n(\text{H}_2)$ [cm ⁻³]
Nube 1	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^{21}$	1331 ± 200	282 ± 43
Nube 2	$(5.0 \pm 0.9) \times 10^{20}$	148 ± 30	459 ± 93
Nube 3	$(3.0 \pm 0.7) \times 10^{20}$	48 ± 13	241 ± 61

GAS MOLECULAR

En la Figura 4, que muestra la emisión del CO(1-0), se identifican 3 nubes posiblemente relacionadas con Sh2-162. La más intensa (Nube 1) se proyecta hacia el interior de la región HII, lo que sugiere una posible relación con la subestructura descrita en la Figura 1. Para cada una de las nubes calculamos la densidad de columna, la masa y la densidad volumétrica de hidrógeno molecular (H_2). Los resultados se presentan en la Tabla 1.

EMISIÓN EN INFRARROJO

En la Figura 5 se muestra la distribución de la emisión en el infrarrojo a 100 μm en la zona de Sh2-162. Se observa una mayor emisión en la zona central de la región; sin embargo, debido a la baja resolución angular de los datos, no es posible distinguir la estructura interna.

A partir de los valores de densidad de flujo que estimamos para la emisión en 60 y 100 μm, utilizando el relevamiento de IRIS, obtuvimos que la temperatura de color del polvo es de 36 K y su masa es $6 M_{\odot}$.

Siguiendo los criterios de color para fuentes puntuales MSX (Lumsden et al. 2002) encontramos una fuente candidata a ser una protoestrella masiva -G112.2239+00.2233- (MYSO) y una fuente candidata a ser una región HII compacta (CHII) -G112.2308+00.2598-.

Sus posiciones se indican en la Fig. 4.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en las distintas frecuencias podemos concluir que:

- La estrella BD+60 2522 ha generado diferentes estructuras a lo largo de su evolución. La estructura esférica más grande probablemente se formó durante su fase en la secuencia principal, mientras que la más pequeña se habría formado en su actual fase de gigante, en la cual el viento estelar es más lento y denso.
- La estrella se está moviendo en dirección a las zonas más intensas de las estructuras. Su elevada velocidad peculiar sugiere que es probablemente una estrella *runaway*, generando estructuras tipo *bow shock*.
- El número de fotones necesarios para mantener la ionización de Sh2-162 es inferior al número de fotones emitidos por una estrella O6.5III, $N_{\text{Ly}\alpha} = 5.6 \times 10^{49}$ (Sternberg et al. 2003). Esto indica que hay mucho polvo absorbiendo fotones y/o muchos fotones están escapando de la región. La distribución del gas molecular observada apoya la segunda opción, ya que sugiere que la escasa cantidad de gas molecular presente en la región permite la fuga de fotones.
- La temperatura del polvo estimada, $T_d = 36$ K es consistente con la esperada para el polvo asociado a regiones HII.
- Las dos fuentes MSX, identificadas como candidatas a una región HII compacta y una protoestrella masiva, sugieren formación estelar reciente en la zona, según sus características de color. Sin embargo, dada su proximidad a BD+60 2522 y a la cáscara más pequeña observada en el óptico, no se puede descartar que estas fuentes estén relacionadas con la estrella gigante y la estructura identificada, considerando la resolución angular disponible.