

EXPANDING HI IN THE CAR OB2

J.R. Rizzo^{1,2}, E.M. Arnal^{1,3}, E. Bajaja^{1,3}

1 Instituto Argentino de Radioastronomía

2 Becario del CONICET

3 Investigador del CONICET

RESUMEN: Analizando el HI interestelar en la zona de Car OB2, se logró identificar una estructura de grandes dimensiones, probablemente vinculada a la asociación. Esta estructura, inmersa en un ambiente sumamente complejo, (se estaría observando a lo largo del brazo de Sagitario-Carina), estaría formada por una cáscara que se expande a 24 km s^{-1} , y por una burbuja ubicada hacia la zona central. Las coincidencias en posición, velocidad y edad refuerzan la relación de Car OB2 con esta estructura, formada por efecto de la evolución de sus estrellas más masivas sobre el medio interestelar.

ABSTRACT: From the analysis of the interstellar HI in the region of Car OB2, it was possible to identify a large structure, presumably related to the association. This structure, immersed in a very complex ambient (it is seen throughout the Sagitario-Carina arm), consists of a shell expanding at 24 km s^{-1} , and of a bubble located in the central part. The coincidences in position, velocity and age strengthen the relationship between Car OB2 and this structure, created by the effect of the evolution of its most massive stars on the interstellar medium.

I. INTRODUCCION

Las asociaciones OB constituyen el agregado de estrellas más luminosas y masivas de toda la Galaxia. Generalmente, las componen varias decenas de estrellas O y B, las más jóvenes y energéticas y, por lo tanto, las de efecto más observable sobre el medio interestelar. El enorme flujo UV de este tipo de estrellas ioniza constantemente el medio circundante, creando regiones HII; por otro lado, tienen la tasa de pérdida de masa más elevada (varias veces $10^{-6} M_{\odot}/\text{año}$), creando vientos que soplan el gas de los alrededores; por último, son las estrellas O y B las que evolucionan más rápidamente, explotando como supernovas, lo que también perturba fuertemente al medio interestelar. Estos tres mecanismos generan, a medida que la asociación evoluciona, una región interior altamente ionizada, de baja densidad y alta temperatura, rodeada por una envoltura fría en expansión.

En el terreno teórico, ésto ha sido investigado numéricamente por varios autores (ver Chevallier 1974 para remanentes de supernova, y Weaver et al. 1977 y Castor et al. 1975 para burbujas de HI y regiones HII). Asimismo, en 21 cm se han detectado varias de estas estructuras (ver, por ejemplo, Colomb y Dubner 1981, Cersósimo 1982, Cappa de Nicolau y Poppel 1984, Cappa de Nicolau y Niemela 1984, Cappa de Nicolau et al. 1986, Van der Bij y Arnal 1986 y Cappa de Nicolau et al. 1988).

Estos resultados han sido generalizados teóricamente para asociaciones OB, donde se considera que estos fenómenos actúan permanentemente en las mismas. Al respecto, diversos autores (Tomisaka et al. 1981, Beltrametti et al. 1982 y Tenorio-Tagle et al. 1982, entre otros) preveen una estructura en expansión que, a

una edad del orden de 10^6 años, alcanza una velocidad de $\sim 20 \text{ km s}^{-1}$ y un diámetro de $\sim 100 \text{ pc}$. Sin embargo, la comprobación observacional de estas teorías sólo se ha efectuado en un puñado de casos, como Cygnus OB2 (Cash et al. 1980 en rayos X, Dickel et al. 1969 en $H\alpha$ y Heiles 1979 en HI), Scorpio-Centauro (Cappa de Nicolau y Poppel 1986; De Geus 1988) y Ara OB1 (Arnal et al. 1987; Rizzo y Bajaja 1990).

Con respecto a Car OB2, García (1988) completó un minucioso estudio espectrofotométrico de las estrellas y los cúmulos abiertos que la componen, identificando 91 estrellas O y B seguras y estimando una distancia de 3.1 Kpc. Por otro lado, Georgelin y Georgelin (1970) detectaron $H\alpha$ en nueve regiones HII de la región, pudiendo algunas estar asociadas a la región. En cuanto al gas molecular, Grabelsky (1986) realizó un relevamiento completo del brazo de Sagitario-Carina en CO, identificando nubes moleculares gigantes en la región, asociadas en varios casos con cúmulos abiertos de la zona. Humphreys y Kerr (1974) compararon tanto la cinemática estelar como gaseosa en 21 cm, y denunciaron "irregularidades cinemáticas" en la dirección del brazo de Carina ($l = 290^\circ$).

En este trabajo es nuestro propósito identificar las estructuras en HI previstas para Car OB2, obtener sus parámetros geométricos y físicos, estudiar su campo de velocidades e investigar la interacción entre la asociación y el medio interestelar.

2. OBSERVACIONES ANALIZADAS

Los dos relevamientos de HI en 21 cm que fueron utilizados para la identificación de la estructura fueron el de Kerr et al. (1986, de aquí en adelante KBJK) y el de Strong et al. (1982, SROM). Los datos

técnicos de estos relevamientos están indicados en la Tabla I.

TABLA I

RELEVAMIENTO	SRM	KBJK
Resol. en "l" (gr.)	0.5	0.5
Resol. en "b" (gr.)	1	0.25
Res. en vel. (km s^{-1})	0.82	1.04
HPBW (min. arco)	16	48
ΔT (rms)	1K	0.3K
Nro. canales	512	300

Las características de la emisión de HI y de la región estudiada dificultan la identificación de este tipo de objetos, por i) encontrarse en el plano galáctico; ii) observarse a lo largo de un brazo espiral, y iii) ser el HI ópticamente delgado, lo cual significa que el gas se presenta mezclado con componentes espúreas, tanto locales (a una escala angular grande) como galácticas (produciendo notables perturbaciones isofotales).

En consecuencia, separar la estructura esperada requiere, a grandes rasgos: i) "individualizar" las características asignables a la asociación, tales como una notable disminución en la densidad de columna ($N(\text{HI})$) y una secuencia de máximos en un determinado rango de velocidades, y ii) sustraer el fondo mediante procedimientos matemáticos. Para la primera etapa, se utilizaron ambos relevamientos, mientras que el proceso posterior fue llevado a cabo con los datos de SRM solamente, obteniéndose un fondo variable en las tres

"coordenadas" (l , b y velocidad).

El método consiste en interpolar hacia la zona de interés desde el exterior, con un polinomio de segundo grado en l y b , para cada velocidad. El error del método fue estimado numéricamente, y es menor que 5K, aunque disminuye sensiblemente al ser la señal más intensa en relación al fondo. Los mismos experimentos demuestran un alto porcentaje de reproducción de la estructura, con errores en las masas siempre menores que 15%.

3. RESULTADOS

Los primeros pasos en esta investigación consistieron en construir mapas de distribución de $N(HI)$ en distintos rangos de velocidades, asumiendo que el HI es ópticamente delgado. Para esta etapa fue de utilidad contar con dos relevamientos de características diferentes: mientras que la baja resolución angular de KBJK y el muestreo sobredimensionado permitieron establecer la continuidad de estas estructuras en escalas de varios grados, el relevamiento de SR0M fue muy útil para distinguir la emisión desde regiones de escala angular mucho menor.

La figura 1 muestra un mapa de distribución de $N(HI)$ en el rango de velocidades $-36 < V(LSR) < -26 \text{ km s}^{-1}$, del relevamiento de SR0M. Es de destacar la disminución de $N(HI)$ alrededor de $l=290^\circ$ y b entre -2° y $+2^\circ$, así como algunos máximos alrededor. El centroide de esta estructura coincide con Car OB2, y las velocidades son también similares (García 1988).

Para la sustracción del fondo y el trabajo posterior fue empleado el relevamiento de SR0M. La región elegida fue $288^\circ < l < 292^\circ$ y $-4^\circ < b < +4^\circ$, más el punto (287.5,0.), teniendo por lo tanto 82 puntos para la

aplicación del método mencionado antes.

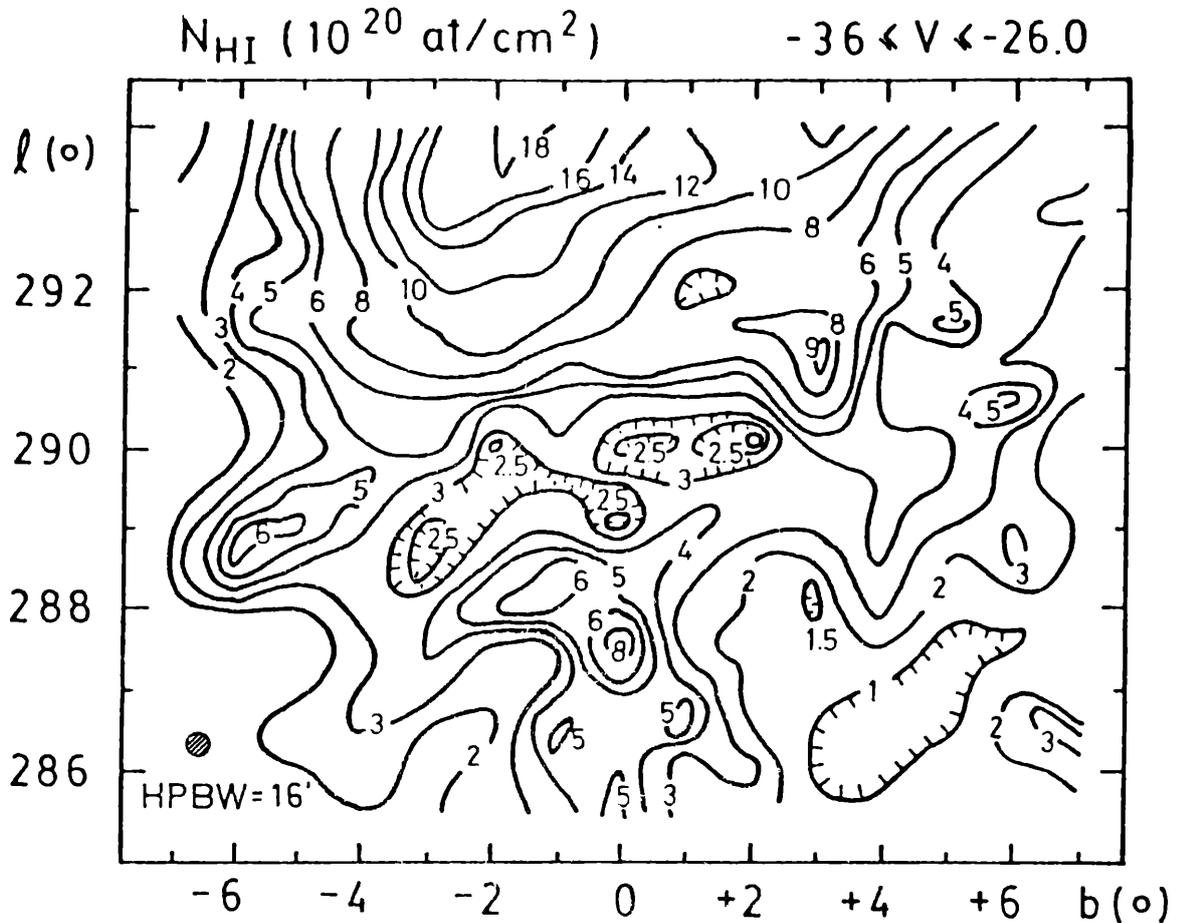


Figura 1: Distribución de $N(\text{HI})$ en el rango de velocidades (LSR) $-36 < V < -26 \text{ km s}^{-1}$ en la región, en unidades de 10^{20} cm^{-2} , correspondiente al relevamiento de Strong et al. (1982). Se advierte una disminución hacia $(290^\circ, 0^\circ)$, así como una serie de máximos alrededor.

La figura 2 muestra una secuencia de 8 mapas en distintos rangos de velocidades, luego de sustraído el fondo. Es posible advertir la típica estructura de disco-anillo característica de cáscaras en expansión. En el primer mapa se observa un máximo, y luego se van extendiendo angularmente hasta el cuarto mapa, para luego comenzar a disminuir hacia los últimos. Por otro lado, el mínimo de HI (valores negativos en los mapas), también llega a su extensión angular máxima y a sus valores más negativos de $N(\text{HI})$ en el cuarto mapa.

Quizás el argumento más concluyente sobre esta estructura en expansión lo presente el estudio del campo

de velocidades, a través del diagrama posición-velocidad" de la figura 3; esta figura corresponde a un barrido en longitud galáctica para $b=0^\circ$. En la misma, se advierte un notable mínimo hacia $l=290^\circ$, $V=-25 \text{ km s}^{-1}$ y una serie de máximos alrededor. Este esquema es característico de una estructura en expansión, ya que en los extremos ($l=288.5$ y $l=291.5$) hay una sola componente y hacia el centro aparecen dos componentes cada vez más separadas.

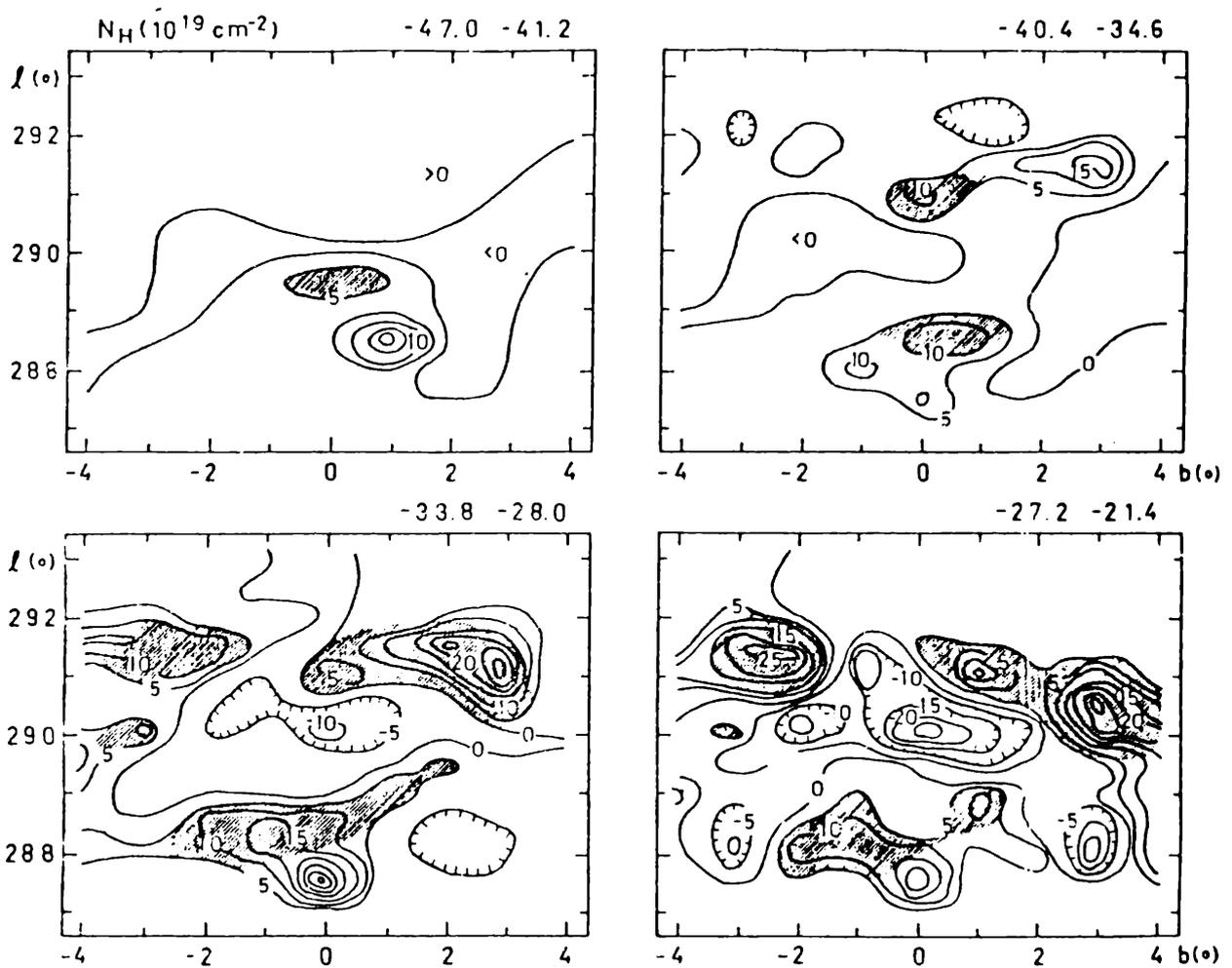


Figura 2: Secuencia de 8 mapas de $N(\text{HI})$, en unidades de 10^{19} cm^{-2} , una vez sust el fondo. El intervalo de velocidades está indicado arriba a la derecha. Las sombreadas serían de la estructura hallada, donde puede advertirse la estructura característica de una expansión.

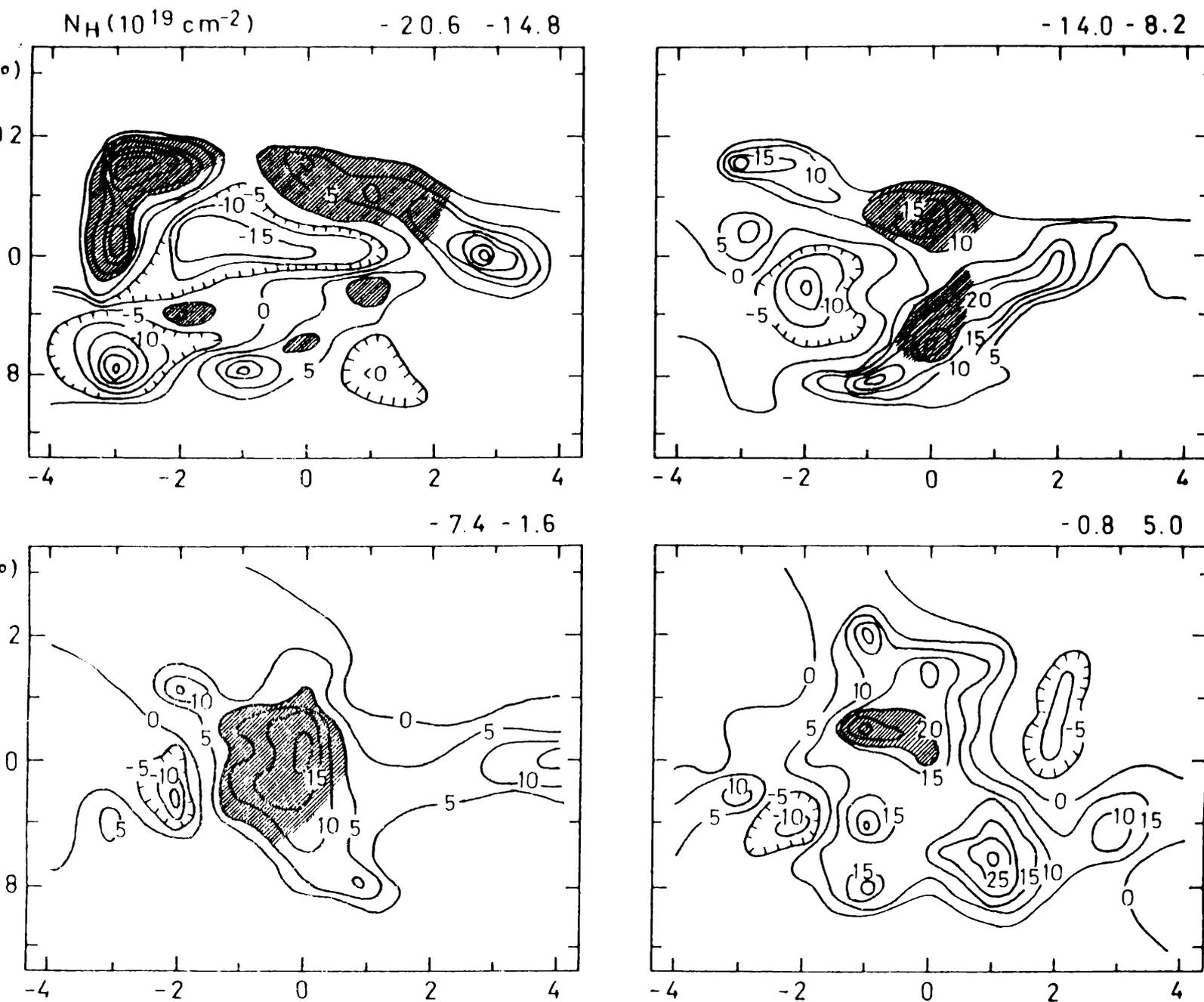


Figura 2 (continuación)

En la Tabla II se sintetizan los parámetros deducidos de esta estructura, luego de un ajuste numérico sobre elipses concéntricas; la distancia adoptada coincide tanto con la cinemática (Burton 1988), como con la de Car OB2 (García 1988).

TABLA II

PARAMETROS	OBTENIDOS
! Centro (l, b)	! 290.1, 0.2 !
! Distancia (pc)	! 3100 !
! Tamaño ($R_l \times R_b$)	! 65 x 100 pc !
! $R_{\perp} = (R_l \times R_b)^{1/2}$! 80 pc !
! Espesor (pc)	! < 40 !
! Vel. Media (km s^{-1})	! -25 !
! Vel. Expansión (km s^{-1})	! 24 !
! Masa de HI (M_{\odot})	! $1.1 \cdot 10^5$!
! Densidad (cm^{-3})	! ~ 1 !
! Energ. Asoc. (erg)	! $6.6 \cdot 10^{52}$!
! $T = R_{\perp} / V_{\text{exp}}$ (años)	! $3.3 \cdot 10^6$!

4. DISCUSION FINAL

Un cuidadoso tratamiento de los datos observacionales permitió identificar una cáscara de HI de grandes dimensiones (100 pc x 65 pc), con características expansivas, a una velocidad baricentral de -25 km s^{-1} .

La vinculación de esta estructura con la asociación estelar Car OB2 y los cúmulos abiertos de la región (NGC 3590 y 3572, Hogg 10, 11 y 12, Cr 240 y Tr 18) es factible, en principio, por la coincidencia en posición y velocidad con las estrellas de la región; al respecto, García (1988) halla la misma velocidad para Car OB2, tomando las estrellas de velocidades no variables. Por otro lado, la distancia cinemática es de 3000

pc, en clara coincidencia con la de Car OB2.

Existen observaciones en otras frecuencias que parecen estar relacionadas con algunos rasgos del HI estudiado aquí. Grabelsky et al. (1988) identifica en CO tres complejos moleculares (sus nubes 11, 12 y 20), dispuestas hacia los bordes del agujero de HI en $-50 < V < -9$ km s⁻¹, así como otros dos (nubes 14 y 16) hacia la zona central, en $-9 < V < 7$ km s⁻¹. El continuo puede ser analizado mediante el relevamiento de 1.4 GHz de Hill (1968), brindando información sobre el material ionizado de la región; existe un notable máximo alrededor de (290., -0.5), pudiendo indicar que el gas que envuelve a Car OB2 está a muy alta temperatura. Wilson et al. (1970) observaron regiones HII de la zona, detectando en H109 α velocidades entre -20 y -26 km s⁻¹ en varios casos. Georgelin y Georgelin (1976 y 1970), a partir de Fabry-Perot de la zona, también obtienen en H α velocidades de -10/-20 km s⁻¹, vinculadas a regiones HII del mismo campo, tales como G34b, G35/RCW 54, G37, RCW 55 y RCW 57/NGC 3603.

Este trabajo permite, por lo tanto, estimar la interacción entre la asociación OB y el medio interestelar. En primer lugar, podemos advertir que la velocidad de expansión ($=24$ km s⁻¹) es similar a la hallada por Heiles (1979) en otras supercáscaras en expansión y que la edad cinemática (tiempo máximo en llegar a esta configuración) es $< 3.3 \cdot 10^6$ años, algo menor que la edad de la asociación.

Los valores de energía cinética, radio y velocidad de expansión coinciden razonablemente con el modelo F de Tomisaka et al. (1981), corrigiendo por el "factor de densidad", donde el radio de la cáscara y la velocidad de expansión son proporcionales a $n^{-0.26}$. Dicho modelo está referido a una asociación de ~ 100 estrellas, mientras que Car OB2 tiene identificadas 91.

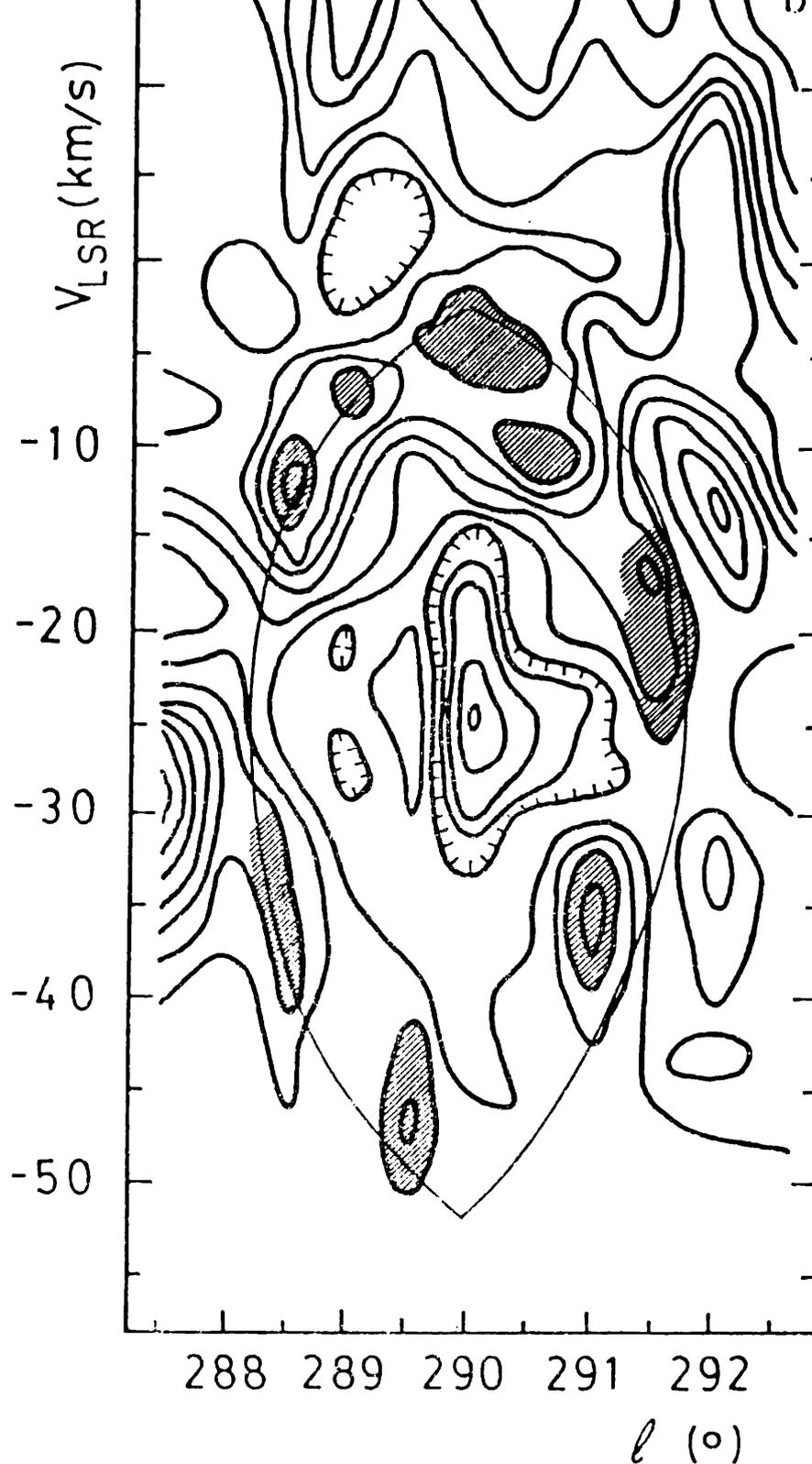


Figura 3: Diagrama "Posición-Velocidad" para $b=0^\circ$, una vez sustraído el fondo. Otra evidencia de cáscara en expansión (ver texto).

Por lo tanto, parecen existir tanto evidencia observacional como soporte teórico para estimar que Car OB2, en su evolución, ha ionizado y expulsado continua-

mente el gas hacia la periferia, por los mecanismos considerados en la Introducción de este trabajo: ionización, vientos y explosiones de supernova de sus estrellas tempranas.

REFERENCIAS

- Arnal, E.M.; Cersósimo, J.C.; May, J.; Bronfman, L.
1987. *Astron. Astrophys.* **174**, 78.
- Beltrametti, M.; Tenorio-Tagle, G.; Yorke, H.W. 1982.
Astron. Astrophys. **112**, 1.
- Burton, W.B. 1988, en "Galactic and Extragalactic
Radioastronomy", eds. G.G.L. Verschuur, K.I.
Kellerman, seg. edición, p. 295.
- Cappa de Nicolau, C.E.; Niemela, V.S. 1984. *Astron. J.*
89, 1388.
- Cappa de Nicolau, C.E.; Niemela, V.S.; Arnal, E.M. 1986.
Astron. J. **92**, 1414.
- Cappa de Nicolau, C.E.; Niemela, V.S.; Dubner, G.M.;
Arnal, E.M. 1988. *Astron. J.* **96**, 1671.
- Cappa de Nicolau, C.E.; Poppel, W.G.L. 1984. *Bol. Asoc.
Arg. de Astr.* **28**, 126.
- Cappa de Nicolau, C.E.; Poppel, W.G.L. 1986. *Astron.
Astrophys.* **164**, 274.
- Cash, W.; Charles, P.; Bowyer, S.; Walter, F.; Garmine,
G.; Riegler, G. 1980. *Ap. J. Lett.* **238**, L71.
- Castor, J.; McCray, R.; Weaver, R. 1975. *Ap. J. Lett.*
200, L107.
- Cersósimo, J.C. 1982. *Astrophys. Lett.* **22**, 157.
- Chevallier, R.A. 1974. *Ap. J.* **188**, 501.
- Colomb, F.R.; Dubner, G. 1981. *Rev. Mex. Astr. Astrof.*
6, 267.
- De Geus, E.J. 1988. Tesis Doctoral, Universidad de
Leiden.

- Dickel, H.R.; Wendker, H.; Bieritz, J.H. 1969. *Astron. Astrophys.* **1**, 270.
- García, B. 1988. Tesis Doctoral, Universidad de La Plata.
- Georgelin, Y.P.; Georgelin, Y.M. 1970. *Astr. Astrophys.* **6**, 349.
- Georgelin, Y.M.; Georgelin, Y.P. 1976. *Astr. Astrophys.* **49**, 57.
- Grabelsky, D.A. 1986. NASA Technical Memorandum 87798.
- Grabelsky, D.A.; Cohen, R.S.; Bronfman, L.; Thaddeus, P. 1988. *Ap. J.* **331**, 181.
- Heiles, C. 1979. *Ap. J.* **229**, 533.
- Hill, E.R. 1968. *Aust. J. Phys.* **21**, 735.
- Humphreys, R.M.; Kerr, F.J. 1974. *Ap. J.* **194**, 301.
- Kerr, F.J.; Bowers, P.F.; Jackson, P.D.; Kerr, M. 1986. *Astron. Astrophys. Suppl.* **63**, 373.
- Rizzo, J.R.; Bajaja, E. 1990. *Bol. Asoc. Arg. de Astr.* **36**,
- Strong, A.W.; Riley, P.A.; Osborne, J.L.; Murray, J.D. 1982. *MNRAS* **201**, 495.
- Tenorio-Tagle, G.; Beltrametti, M.; Bodenheimer, P.; Yorke, H.W. 1982. *Astron. Astrophys.* **112**, 104.
- Tomisaka, K.; Habe, A.; Ikeuchi, S. 1981. *Astrophys. Spa. Sci.* **78**, 273.
- Van der Bij, M.; Arnal, E.M. 1986. *Astrophys. Lett.* **25**, 119.
- Weaver, R.; McCray, R.; Castor, J.; Shapiro, P.; Moore, R. 1977. *Ap. J.* **218**, 377.
- Wilson, T.L.; Mezger, P.G.; Gardiner, F.F.; Milne, D.K. 1970. *Astron. Astrophys.* **6**, 364.