

## PRESENTACIÓN ORAL

### Gas molecular en la nebulosa anillo alrededor de WR 16

N. U. Duronea<sup>1,2</sup>, E. M. Arnal<sup>1,2</sup>

(1) *Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR)*

(2) *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP*

**Abstract.** Using NANTEN  $^{12}\text{CO}$  ( $J=1\rightarrow 0$ ) observations, the distribution of the molecular gas towards the multiple ring nebula surrounding the star WR 16 has been analysed. Two striking features associated with the star and the nebula, respectively, were identified. One of them, the external one, is interstellar molecular gas which has been wind shaped in an early stage of the star. The internal feature is only noticed in a very small velocity range and has probably a stellar origin. Physical parameters have been calculated and kinematical models have been constructed in order to explain the physical link between these features and the nebula.

**Resumen.** En este artículo se presenta un estudio del gas molecular llevado a cabo en la nebulosa anillo múltiple alrededor de la estrella WR 16, usando observaciones de la línea ( $J=1\rightarrow 0$ ) del  $^{12}\text{CO}$  obtenidas con el radiotelescopio NANTEN. Se encontraron dos estructuras moleculares cuya morfología las asocia a la nebulosa. La estructura más externa podría haberse originado como resultado de la interacción con los vientos de la estrella en una etapa temprana de su evolución. La estructura interna parece estar formada por gas molecular originado en la atmósfera de la estrella en una etapa intermedia de su evolución y sólo es visible en un rango muy pequeño de velocidad radial. Para estas estructuras, se calcularon algunos parámetros físicos y se construyó un modelo cinemático que podría explicar su morfología y su relación con la estrella y la nebulosa.

## 1. Introducción

Las nebulosas anillo son objetos que se encuentran frecuentemente asociados a estrellas de gran masa. La existencia de nebulosas anillo alrededor de estrellas Wolf-Rayet (WR), es consistente con una evolución de la estrella desde la fase O hasta la fase WR en tres etapas, cada una de las cuales está caracterizada por un viento estelar con distintas propiedades (García Segura & Mac Low, 1995). Durante la fase O, los vientos rápidos evacúan el gas interestelar creando estructuras conocidas como Burbujas Interestelares (BI). Posteriormente, la estrella entra en la fase de Supergigante Roja (RSG) y sus vientos densos son lentamente depositados en la cavidad originada en la fase O. Más tarde, la estrella entra en la fase WR y sus vientos rápidos alcanzan a los vientos lentos de la fase RSG, interaccionando con éstos y creando una nebulosa anillo.

La nebulosa anillo alrededor de la estrella WR 16 fue descubierta por Marston *et al.* (1994). La misma consiste en un sistema de anillos múltiples, con un anillo interno ubicado a  $\sim 5'$  (también visible en el lejano infrarrojo) y uno externo ubicado a  $\sim 8'$  de la estrella. En la Figura 1 se muestra la imagen  $H_\alpha$  e IR en  $60 \mu\text{m}$  de esta nebulosa obtenida del relevamiento Super Cosmos y del relevamiento IRAS de alta resolución (HIRES), respectivamente.

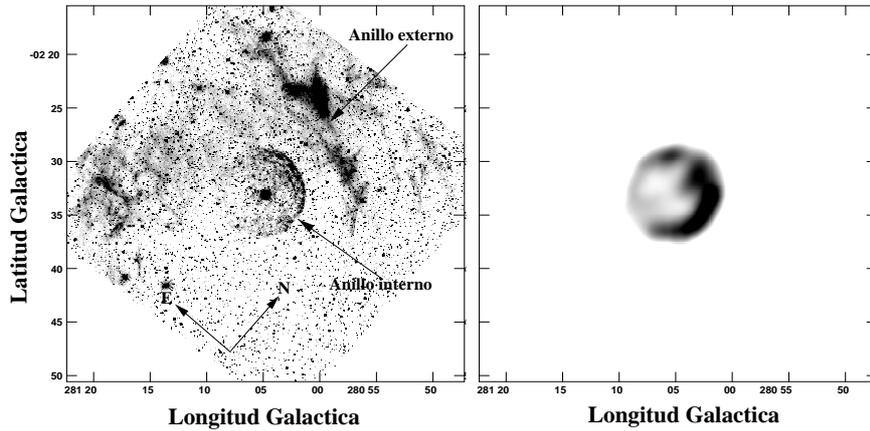


Figura 1. *Izquierda:* Imagen  $H_\alpha$  obtenida del relevamiento Super Cosmos. *Derecha:* Imagen obtenida del relevamiento IRAS de alta resolución (HIRES). La estrella WR 16 se encuentra en el centro del campo.

Marston *et al.* (1999) realizaron un estudio de la línea ( $J=1 \rightarrow 0$ ) del  $^{12}\text{CO}$  usando datos obtenidos con el instrumento SEST (HPBW= $45''$ ) en una zona de  $\sim 20' \times 14'$  alrededor de WR 16 (ver Figura 2). En este trabajo los autores reportaron la presencia de una componente molecular ubicada a una velocidad LSR de  $V \approx -5$  km/seg, que se encuentra rodeando al anillo  $H_\alpha$  interno y que poseería, según esos autores, una masa de entre 5 y  $78 M_\odot$ . Este valor llevó a los autores a concluir que esta componente es de origen estelar.

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos del análisis del material molecular realizado alrededor de la estrella WR 16, utilizando observaciones de la línea ( $J=1 \rightarrow 0$ ) del  $^{12}\text{CO}$  (HPBW= $2',7$ ) obtenidas con el radiotelescopio milimétrico japonés NANTEN ("cielo austral"), perteneciente a la Universidad de Nagoya, el cual estaba instalado en el observatorio Las Campanas, Chile.

## 2. Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra la distribución del CO de las dos estructuras encontradas alrededor de WR 16. La primera de ellas es visible en el rango de velocidad de  $-6,5$  a  $-3,5$  km/seg y rodea externamente al anillo  $H_\alpha$  interno desde el borde NE hasta el SO del mismo. Esta estructura sería la encontrada por Marston *et al.* (1999) y, de ahora en más, se la denominará Anillo Molecular Externo (AME). La otra estructura es visible en un rango muy pequeño de velocidades ( $\sim -9,61$  a  $-9,5$  km/seg) y parece estar íntimamente asociada a la región más brillante del

anillo  $H_\alpha$  interno. A esta estructura se la denominará Anillo Molecular Interno (AMI). En la región SO del AMI es visible una pequeña estructura denominada A. Posteriores estudios cinemáticos determinaron que estas dos estructuras no estaban físicamente asociadas.

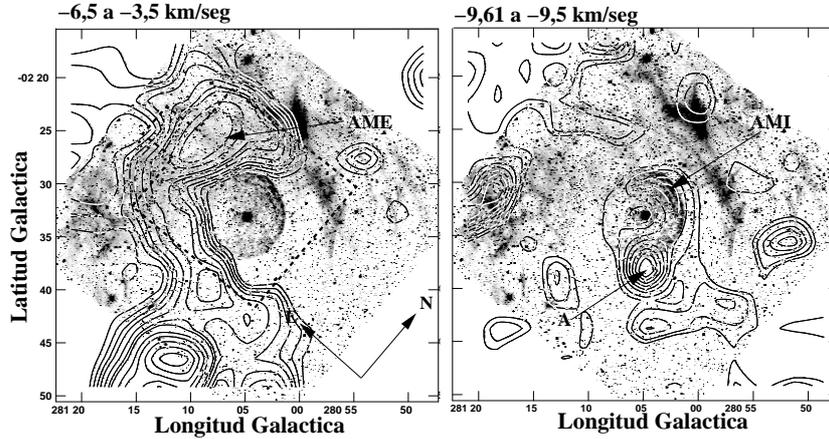


Figura 2. *Izquierda*: Emisión del CO en el intervalo de velocidades de  $-6,5$  a  $-3,5$  km/seg (contornos) superpuesta con la emisión  $H_\alpha$  (tonos de grises). Los niveles de contornos van desde  $0,42$  K ( $\sim 10 \sigma$ ) hasta  $0,7$  K con un espaciado de  $0,15$  K, y desde  $0,7$  K con un intervalo de  $0,35$  K. La línea de puntos delimita la zona observada por Marston *et al.* (1999). *Derecha*: Idem en el intervalo de velocidad  $-9,61$  a  $-9,5$  km/seg. Los niveles de contorno van desde  $0,45$  K ( $\sim 2,5 \sigma$ ) hasta  $1,12$  K en intervalos de  $0,17$  K y desde  $1,12$  K en intervalos de  $0,35$  K.

En la Figura 3 se muestra el perfil de emisión obtenido realizando integraciones concéntricas alrededor de la posición de WR 16 (cruz en el centro) para la emisión de CO y del IR en  $60 \mu\text{m}$  (convolucionada a un haz de  $2',7$ )

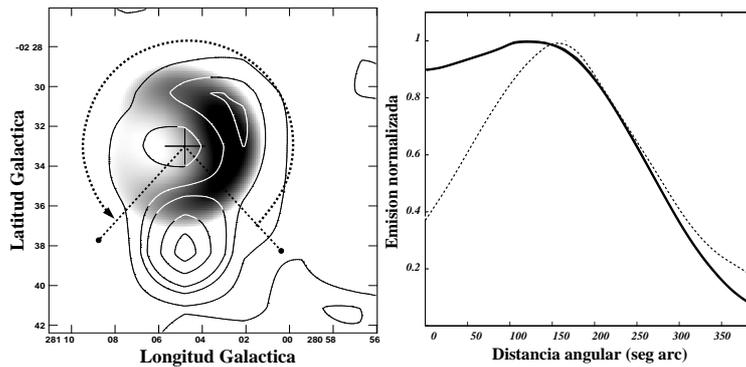


Figura 3. *Izquierda*: Superposición de la emisión de CO correspondiente al AMI con la emisión de  $60 \mu\text{m}$  convolucionada a un haz de  $2',7$ . La flecha en línea de puntos indica la dirección de integración. *Izquierda*: Intensidad normalizada de la emisión promedio de CO (línea de puntos) y de  $60 \mu\text{m}$  (línea continua).

De la Figura 3 puede observarse que la emisión promedio para estas frecuencias es muy similar, excepto para distancias angulares a la estrella menores

que 150 segundos de arco. Este exceso de emisión en el IR puede explicarse por la presencia de una estructura ubicada sobre el anillo en la dirección norte a  $2'$  de la estrella. De este análisis deducimos que el AMI muy probablemente sea la contraparte molecular de la nebulosa anillo interna visible en  $H_\alpha$  y  $60 \mu\text{m}$ .

La determinación de las propiedades y parámetros físicos correspondientes al AME y al AMI (Tabla 1) requirieron algunas suposiciones acerca del origen de los mismos, que fueron adoptadas en base a su disposición espacial alrededor de WR 16. En el caso del AME, la posición externa del mismo sugiere que su morfología se debe a una interacción entre una nube molecular de origen interestelar y el viento de la estrella en alguna fase temprana de la evolución (posiblemente la fase O), con lo cual la densidad de columna del AME puede calcularse de la misma manera que en el caso del gas molecular galáctico, usando la relación entre la densidad de columna ( $N_{H_2}$ ) y la intensidad integrada de la línea ( $I_{CO}$ ) dada por  $N_{H_2} = (1,9 \pm 0,3) \times 10^{20} I_{CO}$  (Digel *et al.*, 1996). Por otro lado, la posición interna del AMI claramente remite a una estructura de origen estelar eyectada con posterioridad a la fase O, pero anterior a la fase WR, posiblemente la fase RSG. En este caso, suponiendo que el material molecular es ópticamente delgado, puede encontrarse que  $N_{CO} \geq 7,5 \times 10^{14} I_{CO}$ .

Tabla 1. Principales parámetros físicos calculados para el AMI y el AME. Para el cálculo de la masa se consideró una distancia  $d = 2,37 \pm 0,9$  kpc, correspondiente a la estrella WR 16 (van der Hucht, 2001)

Parametro	AMI	AME
$\Delta V$ ( $\text{kms}^{-1}$ )	$\sim 0.11$	$\sim 3$
$I_{CO}$ K $\text{kms}^{-1}$	$0.069 \pm 0.006$	$4.7 \pm 0.2$
$\Omega$ ( $10^{-6}$ sr)	4.35	$27 \pm 1$
$N_{H_2}$ ( $10^{18} \text{cm}^{-2}$ )	$\geq 1.3$	$900 \pm 100$
$M_{tot H_2}$ ( $M_\odot$ )	$\geq 0.07$	$3000 \pm 2000$
$A_v$ (mag)	$\geq 1.4 \times 10^{-4}$	$0.9 \pm 0.1$

El pequeño intervalo de velocidades en el que el AMI es detectado fue particularmente objeto de estudio en este trabajo. Para tal fin, se construyeron modelos dinámicos sencillos que indicaron que muy probablemente la estructura del AMI consista en un disco/anillo delgado, con un radio interno que es aproximadamente un 95 % del radio externo y que está casi en el mismo plano del cielo. Aún así, es necesario continuar estudiando esta estructura con nuevas observaciones a fin de seguir develando sus características.

## Referencias

- Digel, S., Lyder, D., Philbrick, A., Puche D., Thaddeus, P., 1996, ApJ, 458, 561.  
 García Segura, G., Mac Low, M., 1995, ApJ, 455, 145  
 Marston, A., Welzmilller J, Brandsford M., Black J., Bergman P, 1999, ApJ, 518, 769  
 Marston, A., Yocum, D., Garcia-Segura, G., Chu, Y, 1994, ApJS, 95, 151  
 van der Hucht, K. A., 2001, NAR, 45, 135