

## Discos Keplerianos y flujos en estrellas binarias post-AGB

Autor: Iván Gallardo Cava

(i.gallardocava@oan.es)

Tesis doctoral dirigida por: Valentín Bujarrabal Fernández y Javier Alcolea Jiménez

Centro: Observatorio Astronómico Nacional (OAN-IGN) – Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 17 de febrero de 2023

Los objetos de esta tesis pertenecen a una clase específica de estrellas post-AGB: forman parte de un sistema binario con periodos orbitales entre 100 y 3000 días; la separación del sistema es inferior a 5 AU; tienen un exceso en el infrarrojo cercano (NIR) en su distribución espectral de energía (SED) que indica la presencia de polvo caliente; muestran indicios de discos rotantes estables alrededor del sistema estelar. La nebulosa que hay alrededor de una estrella post-AGB es conocida como nebulosa pre-Planetaria (pPNe) y la mayoría de ellas muestra usualmente flujos bipolares. Esta tesis doctoral se ha centrado en el estudio de las nebulosas alrededor de estas estrellas binarias post-AGB. Estas nebulosas están formadas por un disco kepleriano y unos flujos bipolares de velocidad lenta conocidos como vientos de disco. La observación de estas fuentes se ha realizado en frecuencias radio, concretamente en ondas milimétricas.

Uno de los pilares de esta tesis es el estudio cinemático de cuatro de estos objetos a partir de mapas interferométricos obtenidos con NOEMA de las líneas  $^{12}\text{CO}$  y  $^{13}\text{CO}$   $J = 2 - 1$ , así como de su posterior modelado para poder extraer información cuantitativa. Estos mapas revelan la presencia de un disco rotante en el interior de la nebulosa y de una componente en expansión de baja velocidad que parece emanar del disco. Ahora sabemos de manera certera que algunos de estos objetos están dominados por el disco, mientras que en otros es la componente de baja velocidad en expansión la que predomina sobre la estructura rotante. Así, podemos clasificar ACHerculis como *disk-dominated* (junto con los objetos previamente estudiados: RectánguloRojo, IWCarinae e IRAS08544 – 4431), ya que el  $\sim 90\%$  de la masa nebulosa total estaría localizada en el disco rotante. Sin embargo, IRAS 19125+0343 y R Scuti son *outflow-dominated*, ya que sus flujos bipolares representan el  $\sim 75\%$  de la masa nebulosa. El caso de 89Herculis es peculiar: sus mapas interferométricos sufren pérdida de flujo y muestran un aparente reparto equitativo entre el disco y los flujos bipolares. Gracias a la observación *on-the-fly* con el telescopio de 30 m de IRAM, pudimos obtener mapas de potencia total que podían ser mezclados con los mapas interferométricos, obteniendo así mapas combinados de alta resolución que contenían ya todo el flujo de la fuente. Estos mapas mezclados y su posterior modelado revelan que 89Herculis presenta un disco rotante en el interior de la nebulosa y unos flujos bipolares con forma de reloj de arena mucho más extensos y masivos de lo que pensábamos. De esta manera, esta fuente cuyos flujos bipolares constituyen el 65% de la masa nebulosa total, se une a los objetos *outflow-dominated*. Ver Gallardo Cava et al. (2021, A&A, 648, A93) y Gallardo Cava et al. (2023, A&A, 671, A80; ver también Gallardo Cava et al. 2022, Astronomy, 1(2), 84).

El otro pilar de esta tesis es el análisis químico de diez de estos objetos, cuya composición química era prácticamente desco-

nocida hasta este trabajo, por lo que este estudio supuso el primer mapeado observacional químico de estos objetos llevado a cabo en ondas milimétricas en este tipo de estrellas post-AGB binarias. Las observaciones de antena única se realizaron con los radiotelescopios de 30m del IRAM y 40m del IGN en las longitudes de onda de 1.3, 2, 3, 7 y 13 mm. Aquellas fuentes que presentan flujos masivos de gran tamaño tienden a presentar en general un contenido molecular mayor. Este es el caso de RScuti y Al Canis Minoris, donde hemos detectado SiO (térmico y máser), SO,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCO}^+$  y emisión máser de  $\text{H}_2\text{O}$  a 22 GHz (y la detección previa de máser de OH a 1.6 GHz). En IRAS 20056+1834, otra fuente dominada por los flujos bipolares, también hemos detectado emisión máser de SiO. 89Herculis, otra fuente *outflow-dominated*, presenta emisión de HCN, SiS, CS,  $\text{C}^{17}\text{O}$ , y  $\text{C}^{18}\text{O}$ . Por otra parte, encontramos poco contenido molecular en las fuentes dominadas por los discos. Este es el caso del RectánguloRojo, donde hemos detectado SO,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}^{17}\text{O}$ , y  $\text{C}^{18}\text{O}$  (y  $\text{H}^{13}\text{CN}$  de observaciones previas), mientras que ACHerculis presenta una detección tentativa del máser de SiO. Este es el inventario total de moléculas detectadas hasta la fecha en nebulosas alrededor de estrellas binarias post-AGB. Adicionalmente, podemos clasificar la química de alguno de nuestros objetos como oxigenada ( $\text{C}/\text{O} < 1$ ) o carbonada ( $\text{C}/\text{O} > 1$ ): las nebulosas alrededor de ACHerculis, el RectánguloRojo, Al Canis Minoris, IRAS20056+1834, HD52961 y RScuti son medios oxigenados, mientras que la de 89Herculis es carbonada. Ver Gallardo Cava et al. (2022, A&A, 659, A134). Esta tesis presenta un estudio muy completo de este tipo de objetos en ondas milimétricas, cuyos resultados han sido obtenidos a través de distintos métodos de observación: por una parte, hacemos un estudio muy detallado de la cinemática de estos objetos a través de observaciones interferométricas de NOEMA y complejos modelos. Por otra parte, estudiamos la química de estas fuentes gracias a observaciones de antena única. La combinación de estos métodos de observación y análisis proporciona un estudio completo del gas molecular presente en estas fuentes. Por ello, esta tesis doctoral servirá como referencia para futuros estudios del gas molecular en nebulosas alrededor de estrellas binarias post-AGB.

Tesis doctoral disponible en: <https://docta.ucm.es/entities/publication/d95b1a2b-6404-480d-ae7d-38645d5cce5e>

Emisión de  $^{12}\text{CO}$   $J = 2 - 1$   
de la nebulosa alrededor  
de la estrella binaria  
post-AGB 89Herculis.

