



Correlaciones entre la morfología de nebulosas planetarias y el tipo espectral de sus estrellas centrales

A. Mudrik^{1,2} & W.A. Weidmann^{2,3}

¹ Centro de Interpretación Científica Plaza Cielo Tierra, UNC y Gob. de la Prov. de Córdoba, Argentina

² Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Contacto / armudrik@unc.edu.ar

Resumen / Los mecanismos por los cuales una estrella ordinaria da lugar a una nebulosa planetaria (NP) aún no están comprendidos. El hecho de que las estrellas centrales de las NP presenten atmósferas tanto ricas como pobres en hidrógeno, también es una incógnita. Pero ciertamente los mecanismos que detonan la pérdida de masa están relacionados a la abundancia de hidrógeno de la estrella remanente. Por otra parte, la morfología que muestran las NP necesariamente está relacionada con el mecanismo de pérdida de masa. Hemos encontrado que la abundancia de hidrógeno en la atmósfera de las estrellas centrales de NP no correlaciona con la morfología de la NP. También mostramos que para diferentes estados evolutivos de las ECPN se observa una distribución similar de morfologías, por lo que se sugiere que la morfología no cambia con la edad de la NP. Finalmente presentamos evidencia que sugiere que la binaridad de núcleo no correlaciona con las NP de morfología bipolar.

Abstract / The mechanisms by which an ordinary star gives rise to a planetary nebula (PN) remain uncertain. The reason why central stars of PNe have both hydrogen-rich and hydrogen-poor atmospheres is also unknown. Certainly the mechanisms that trigger mass loss are related to the hydrogen abundance of the remnant star. On the other hand, the morphology displayed by PNe is necessarily related to the mass-loss mechanism. We have found that the hydrogen abundance in the central stars of PNe atmosphere does not correlate with PN morphology. We also show that a similar distribution of morphologies is observed for different evolutionary stages of CSPNe, suggesting that morphology does not change with PN age. Finally we present evidence suggesting that binary cores do not correlate with NPe of bipolar morphology.

Keywords / planetary nebulae: general — stars: evolution — stars: Population III

1. Introducción

Los mecanismos por los cuales una estrella evolucionada de masa ordinaria ($0.8-5 M_{\odot}$) se desprende de sus capas externas para dar lugar a una nebulosa planetaria (NP), son aún tema de discusión. Una hipótesis que ha cobrado fuerza en los últimos tiempos es que se necesita un sistema binario (o un planeta masivo) para conseguir una NP (Douchin et al., 2013). Sin embargo el 50 % de las estrellas centrales de NP (ECNP) galácticas conocidas (y para las que se les conocen sus parámetros $\log g$, T_{eff} y Luminosity) se ajustan perfectamente a los tracks evolutivos para una estrella aislada (Weidmann et al., 2020). Ciertamente la morfología resultante que adopta una NP está íntimamente ligada a los mecanismos de pérdida de masa de la progenitora. Por otro lado, si bien las ECNP presentan una gran variedad de tipos espectrales, pueden subdividirse en aquellas cuyas atmósferas son ricas en hidrógeno, *H-rich*, y aquellas que no, *H-poor* (Weidmann & Gamen, 2011). Esta característica de las ECNP también está estrechamente ligada a los mecanismos de pérdida de masa de la progenitora. Para el caso de las *H-rich* la pérdida de masa se explica con el modelo clásico de Iben (1991). En tanto que para las *H-poor* se requiere un episodio de *born-again* (Danehkar, 2014).

En este sentido, el cuestionarse si existe una correlación entre estas dos propiedades de las NP es una pregunta válida, por lo que en este trabajo particularmente se analizará la posible correlación entre la morfología de las NP y la abundancia de hidrógeno en las atmósferas de las ECNP.

2. Nebulosas Planetarias y morfología

Cuando se pretende estudiar un objeto extenso seguramente lo primero que se analiza es su imagen. En el caso de las NP, como se cuenta con una gran cantidad de objetos, la implementación de una clasificación morfológica es (y fue) algo natural. Desafortunadamente no existe un único sistema de clasificación morfológica, ni un estudio que presente un panorama completo o unificado. Más aún, en varios objetos no hay un consenso sobre la morfología; siendo este el caso, por ejemplo, de IC 418. Este objeto muestra una indiscutida forma circular, pero se especula con que en realidad es una nebulosa bipolar que se encuentra alineada con la dirección de la visual (Pascoli, 1990).

Ante este panorama, para este estudio decidimos utilizar un esquema de clasificación simple (basado en el Catálogo de Manchado et al., 1996) el cual discrimina entre: E, Elíptica; R, Redonda; B, Bipolar; I, Irregular;

A, Asimétrica; S, casi-Estelar.

3. Desarrollo y Resultados

3.1. La muestra

La muestra de objetos que usamos se desprende del catálogo más actual de tipos espectrales para ECNP (Weidmann et al., 2020, de aquí en adelante CW2020). Este catálogo incluye 620 NP, aproximadamente el 20 % de todas las NP conocidas de nuestra Galaxia. Para cada uno de estos objetos buscamos la clasificación morfológica en la literatura, desde 1980 hasta el presente y recopilamos las dos clasificaciones más actuales. También recopilamos de la literatura el tamaño angular quedándonos con los dos reportes más actuales. Asimismo, los criterios seguidos para el armado de la muestra final fueron:

- No considerar aquellos objetos del CW2020 que se sospecha que no son NP.
- Descartar las NP del CW2020 con tipo espectral ambiguo: *blue*, *born-again*, continuo, estrella de carbón, *emission-line*, híbridas, no-[WC], pre-WD, SySt, VL, WD, *wels*, líneas de absorción, tipos espectrales tardíos.
- Eliminar del CW2020 los objetos que se conocen que tienen núcleos binarios.
- Rechazar los objetos de tamaño angular inferior a 4", ya que en objetos angularmente pequeños es más difícil tener precisión sobre su morfología.
- En nueve objetos del CW2020 no se encontró una clasificación morfológica, por lo que fueron descartados para la muestra.
- Por otra parte, hay diez objetos con una clasificación morfológica ambigua, por lo que también fueron rechazados.

De este modo, la muestra final queda compuesta por 147 ECNP ricas en hidrógeno y 110 pobres en hidrógeno (ver Tabla 1). La muestra de ECNP ricas en hidrógeno contiene los tipos espectrales B[e], DA, DAO, hgO(H), H-rich, O, O(H), Of, Of-WR(H), sdO, WD(H). En tanto que la muestra de ECNP pobres en hidrógeno incluyen los tipos H-poor: [WC], [WO], DO, H-poor, O(c), O(He), PG1159, [WN].

Por otra parte seleccionamos del catálogo CW2020 una muestra de 106 objetos con núcleo binario y con clasificación morfológica.

Tabla 1: Detalle de la muestra.

Tipo espectral	Objetos	Tipo espectral	Objetos
H-rich		H-poor	
O + B	96	[WC]	45
DA+DAO+WD(H)	25	[WO]	35
hgO(H)	10	PG 1159	13
H-rich	9	[WN]	6
sdO	3	[WR] ¹	6
B[e]	2	O(He)	4
Of-WR(H)	2	[WC]-PG 1159	1

¹ Son estrellas Walf-Rayet para las que aun no se le conoce el subtipo.

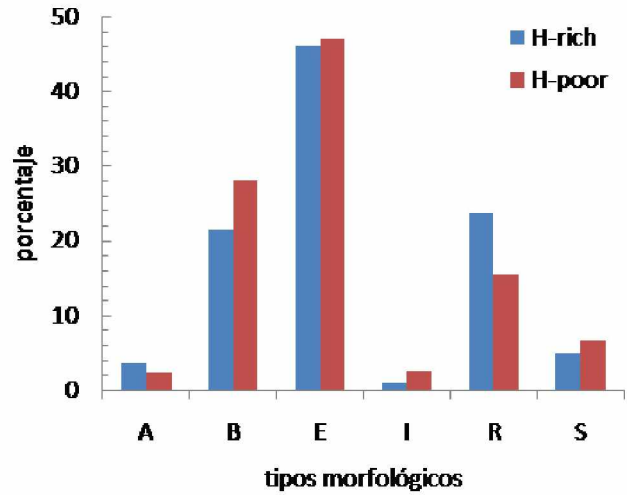


Figura 1: Distribución de los tipos morfológicos en NP con núcleos H-rich y H-poor.

3.2. Abundancia de hidrógeno atmosférico y morfología

El resultado del análisis estadístico de la posible correlación entre estas propiedades se muestra en la Fig. 1. Del histograma se desprende la no evidencia de correlación entre la abundancia de H y la morfología de la NP. En consecuencia esto implicaría que, los mecanismos que determinan si una estrella es H-rich o H-poor, no son los mismos que hacen que una NP adopte determinada morfología.

3.3. Estado evolutivo vs. morfología

Para el caso de las H-poor separamos las [WC] (ECNP H-poor frías) y por otro lado las [WO] más las PG1159 (ECNP H-poor calientes). Las primeras evolucionan hacia las segundas (ver Fig. 1 de CW2020). De igual manera, para las H-rich separamos las calientes (DAO, DA, hgO(H) y O3) y las frías (O4 a B1). Solo consideramos estos tipos espectrales ya que sabemos, de acuerdo al modelo clasico, cual es la secuencia evolutiva.

Las Fig. 2 y 3 ponen en evidencia que no existiría una correlación entre el estado evolutivo (tanto de las H-rich como de las H-poor) de las ECNP con la morfología. En este sentido, podemos especular con que la morfología de una NP no cambia en el tiempo de vida de una NP (a lo sumo 20000 años). Este resultado es coherente con lo observado por Decin et al. (2020) cuyas observaciones ponen en evidencia que el material eyectado por estrellas AGB ya muestra una variedad de morfologías.

3.4. Multiplicidad vs. bipolaridad

Frecuentemente se asocia a las NP bipolares con la presencia de núcleos binarios (Soker, 1997). Sin embargo no existen en la literatura estudios sistemáticos que avalen esta hipótesis.

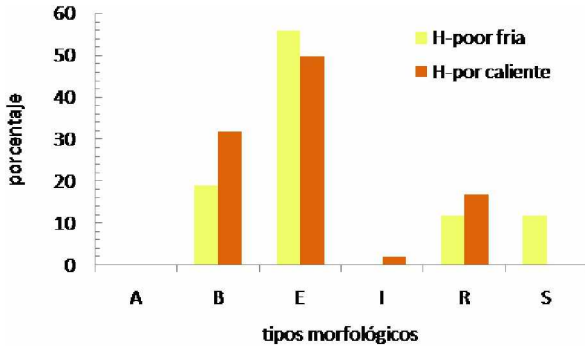


Figura 2: Distribución de NPs con núcleos *H-poor*, discriminando las frías (41 objetos) de las calientes (44 objetos).

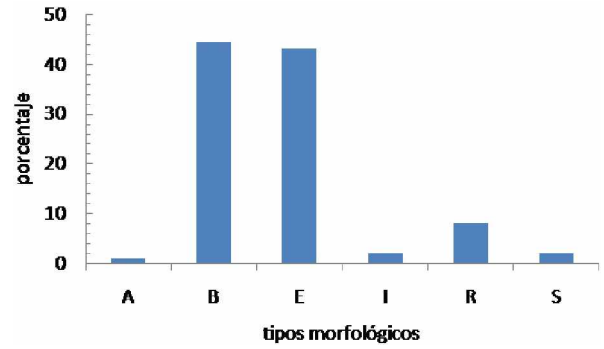


Figura 4: Distribución de la morfología de NPs con núcleo binario confirmado.

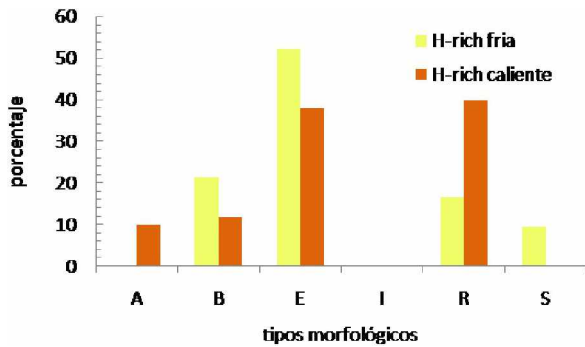


Figura 3: Distribución de NPs con núcleos *H-rich*, discriminando las frías (42 objetos) de las calientes (50 objetos).

En la Fig. 4 presentamos un gráfico de barras mostrando el porcentaje de objetos con núcleo binario para las diferentes morfologías. Se observa que las morfologías dominantes son la bipolar y la elíptica, evidenciándose que las NP con núcleos binarios no tendrían exclusivamente preferencia por morfologías bipolares.

Hay que tener en cuenta algunas consideraciones. Aunque se ve que no todos los núcleos binarios generan NP bipolares, casi la mitad sí lo hacen. Es posible que el núcleo binario, aunque no sea decisivo, sea un factor importante en el origen de una estructura bipolar, en muchos casos. Asimismo, si un núcleo es binario, no necesariamente la NP tiene una simetría bipolar por lo que debe haber otros factores que también dan lugar a la misma. La segunda morfología dominante es la elíptica. Si bien es cierto que algunas NP clasificadas como elípticas sean en realidad NP bipolares que están orientadas en la dirección de la visual, no podemos afirmar que esto se cumpla en todos los casos. En este sentido lo mostrado en la Fig. 4 no se modificaría. Otro factor

a tener presente es que el hecho de que aquellas NP bipolares en las que no se detectó un núcleo binario, no quiere decir que no lo tenga.

4. Conclusiones

El catálogo CW2020 brindó la posibilidad de estudiar algunas correlaciones que pueden arrojar luz sobre la evolución estelar. En este sentido hemos mostrado que la abundancia de hidrógeno en la atmósfera de las ECNP no correlaciona con la morfología de la NP. Es decir, que el mecanismo por el cual una ECNP se desprende de su atmósfera no condiciona la morfología de la NP. Por otro lado, tampoco hemos encontrado una evidencia sólida de que la morfología de una NP cambie con el tiempo. Y, finalmente hemos puesto en evidencia que el hecho de que se tenga una ECNP binaria no implica que la NP tenga preferencia por una morfología bipolar.

Referencias

- Danehkar A., 2014, *Evolution of Planetary Nebulae with WR-type Central Stars*, Ph.D. thesis, Macquarie University, Australia
- Decin L., et al., 2020, *Science*, 369, 1497
- Douchin D., et al., 2013, J. Krzesinski, G. Stachowski, P. Moskalik, K. Bajan (Eds.), *18th European White Dwarf Workshop., Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 469, 293
- Iben Icko J., 1991, *ApJS*, 76, 55
- Manchado A., et al., 1996, *The IAC morphological catalog of northern Galactic planetary nebulae (La Laguna, Spain: IAC Publications)*
- Pascoli G., 1990, *A&AS*, 83, 27
- Soker N., 1997, *ApJS*, 112, 487
- Weidmann W.A., Gamen R., 2011, *A&A*, 526, A6
- Weidmann W.A., et al., 2020, *A&A*, 640, A10