

HDE 269896: Una supergigante de la Nube de Magallanes

Dra. Mariela Corti

La Nube Mayor de Magallanes (LMC)¹ es una galaxia satélite de la Vía Láctea, miembro del Grupo Local de galaxias y una de las más próximas a la nuestra. Debe su nombre a Fernando de Magallanes, quien en su viaje de circunnavegación alrededor de la Tierra, fue el primero en poner en conocimiento a occidente, de la existencia de la misma.

La LMC está clasificada como una galaxia espiral barrada (SB) sin estructura de anillo(s) de forma irregular y sin bulbo (m). La LMC contiene unos 10.000 millones de estrellas y HDE 269896 con coordenadas galácticas $(l,b) = (279^\circ.3, -31^\circ.7)$, es uno de los miembros más brillantes de la LMC, con tipo espectral ON9.7 Ia+.

El tipo espectral es una clasificación que distingue a las estrellas según sea su temperatura superficial, yendo de las estrellas más calientes azules O (conocidas también como tempranas) a las más frías rojas M (conocidas como tardías). Las letras empleadas para dicha clasificación son O B A F G K M.

Las estrellas con tipos espectrales O y B son las que poseen mayor cantidad de masa. A su vez, estrellas con la misma temperatura pueden tener tamaños diferentes, lo que implica luminosidades muy distintas, para distinguirlas surgió la clasificación en luminosidad. Para ello se buscan líneas espectrales sensibles a la gravedad de la estrella, clasificándolas con los números romanos del I al VII, indicando así desde las Supergigantes hasta las Enanas blancas y estimando de este modo su tamaño.

Se ha aceptado que la mayoría de las supergigantes OB morfológicamente normales, en sus atmósferas y vientos poseen una proporción de gas consecuencia del ciclo Carbono Nitrógeno Oxígeno (CNO de ahora en más).

Los objetos clasificados OBC, son los que poseen abundancias CNO físicamente normales (por ej. estrellas enanas de secuencia) y los objetos clasificados OBN, son aquellos que pueden haber conseguido la mezcla como un resultado de efectos adicionales tales como interacciones binarias o rápida velocidad de rotación inicial.

El espectro de HDE 269896 posee dos características inusuales: una línea de emisión de HeII $\lambda 4686$, no esperada en el tipo espectral relativamente tardío de la estrella y una intensidad anómala en la línea de absorción del CNO, que define a la clase espectral ON supergigante. En los tipos espectrales más tempranos, el efecto de emisión en $\lambda 4686$ (Of) es un indicador de luminosidad, por ende su presencia en este espectro, fue interpretada como un efecto de superluminosidad. Esto último se confirma por el hecho de que la magnitud visual de la misma resulta ser más brillante que la correspondiente a la supergigante Ia típica.

La relación $\text{He II } \lambda 4541 = \text{Si III } \lambda 4552$ define al tipo espectral O9.7.

Por todo lo dicho hasta aquí, el espectro de HDE 269896 fue clasificado como ON9.7 Ia+ por Walborn Nolan (Astrophysical Journal, año 1977, vol. 215, pág. 53).

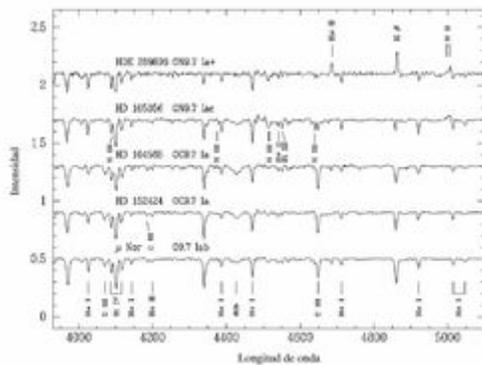


Figura 1: Espectrogramas de HDE 269896 y 4 objetos de comparación. La escala de intensidad está normalizada en unidades del continuo. Las líneas de absorción identificadas debajo son: He I $\lambda\lambda 4026, 4144, 4387+4471, 4713, 4922, 5016+5048$; blends C III $\lambda\lambda 4070$ y 4650 ; Si IV $\lambda\lambda 4089+4116$; y He II $\lambda 4200$. En el espectro de HD 152424, está identificado C III $\lambda 4187$; y en HD 105056, N III $\lambda 4097$ (blend con H δ), 4379 y los blends 4511-4514 y 4640-4642; He II $\lambda 4541$; y Si III $\lambda 4552$. Las líneas de emisión identificadas arriba son: He II $\lambda 4686$, H β $\lambda 4861$ y el blend N II $\lambda\lambda 4987-4994-5001-5005-5007$.

En la Figura 1, a modo de comparación, se muestra un espectro en baja resolución de HDE 269896 junto a los espectros de otras cuatro estrellas ON, OC y supergigante normal del mismo tipo espectral, de nuestra galaxia.

Las características de HDE 269896 son:

- * Anomalía en las líneas de absorción del CNO vista en la razón N III $\lambda 4640$ /C III $\lambda 4650$.
- * Intensa emisión en la línea H β .
- * Debilitada absorción en la línea H γ ($\lambda 4340$)
- * Intensa emisión de He II $\lambda 4686$.

Resultando estas últimas tres características una muy buena evidencia de alta luminosidad.

- * Intensa emisión en el perfil de N II 5000Å, presente débilmente en la supergigante ON HD 105056 y completamente ausente en las supergigantes OC y objetos normales.

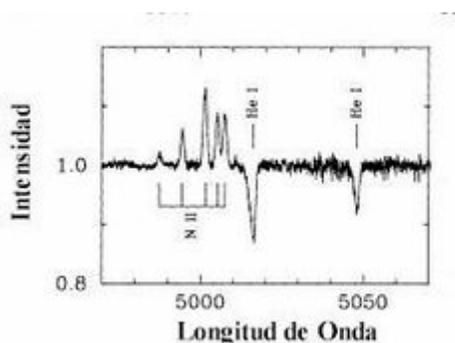


Figura 2: Segmento de un espectro Echelle de HD 105056. Las líneas de emisión son N II $\lambda\lambda 4987+4994+5001+5005+5007$. Las líneas de absorción son He I $\lambda\lambda 5016, 5048$.

El perfil de N II 5000Å es un *blend*² de cinco líneas, como se muestra en el espectro en alta resolución de HD 105056 en la Figura 2 (Walborn Nolan, ASP Conference Proceedings, año 2001, vol. 242, pág. 217). Este perfil resulta una evidencia muy

importante del aumento de nitrógeno y quizás también de la luminosidad, en las supergigantes O tardías.

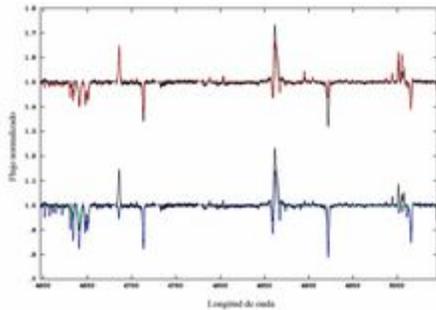


Figura 3: Espectro en alta resolución en el rango espectral del visual (negro) y modelos (rojo, verde y azul) de HDE 269896. Los perfiles espectrales que se destacan son: complejos de N II λ 4600 (4601.5, 4607.2, 4613.9, 4621.4 y 4630.5) y de N II λ 5000 (indicado en la Figura 2.); *blends* en absorción del N III λ 4640 y del C III λ 4650; la línea en emisión del He II λ 4686 y las líneas en absorción del He I λ 4713, 4922 y 5016; y el perfil P Cygni de H β λ 4861.

En la Figura 3 se presenta una imagen de HDE 269896 obtenida con el espectrógrafo Echelle, adosado al telescopio VLT (Very Large Telescope) del European Southern Observatory, en el rango espectral del visual (Evans y col., *Astrophysical Journal*, año 2004, vol. 610, pág. 1021). Como se ve en ella, las líneas espectrales se reúnen en dos grupos con distintos comportamientos cualitativos: uno con perfiles de absorción o perfiles P Cygni³ y otro con delgados y simétricos perfiles de emisión.

Es importante recordar que los potenciales de ionización⁴ de H, N⁺ y He⁺ son 13.6, 29.6 y 54.4 eV, respectivamente. Sorprende ver perfiles de N II y He II en el mismo espectro.

El N II corresponde a un tipo espectral más tardío y el He II a uno más temprano que el tipo espectral asociado a HDE 269896. De este modo se piensa que, el objeto superluminoso debe tener una atmósfera inusualmente extendida con un amplio rango de condiciones de ionización.

Se adoptó un modelo espectral (Evans y col., *Astrophysical Journal*, año 2004, vol. 610, pág. 1021) representado en color verde en la Figura 3, a modo de comparación con los obtenidos observacionalmente. Se ve que mientras el modelo ajusta bien las líneas de absorción de He I, no reproduce las líneas de emisión de N II ni de He II. Luego se corrieron otros dos modelos, representados en la Figura 3 con los colores azul y rojo. El modelo azul, con un incremento en la abundancia de N, tampoco produce las líneas de emisión. No obstante, el modelo rojo, con un crecimiento similar en la abundancia de N y también con una temperatura efectiva algo menor y tasa de pérdida de masa incrementada respecto a los otros modelos, produce las líneas de emisión de N II y de He II, incluso la emisión de N II está algo sobreestimada. Por otro lado, el modelo rojo no reproduce correctamente las líneas de absorción de He I, lo cual pueda deberse a una pequeña corrección aún no efectuada, en la abundancia de He respecto a la razón con el H. Los resultados que se observan en estos modelos, indican que quizás, será posible reproducir más perfiles en el espectro óptico de HDE 269896, con un pequeño ajuste en los parámetros de dichos modelos.

Es muy importante también, comprender los procesos atómicos que producen las particulares líneas de emisión, presentes en los espectros de las estrellas tipo O. Estas líneas se presentan en emisión al mismo tiempo que otras líneas producidas por el mismo ión, aparecen en absorción. La mayor parte de ellas, son líneas generadas en la fotosfera de la estrella y responden a la temperatura y luminosidad de la misma. Actualmente, existen modelos que pueden producir líneas de emisión generadas en el rango ultravioleta del espectro. No obstante, es necesario aún modelar los mecanismos involucrados en la generación de dichas líneas en el rango espectral del visual. Cuando ello se consiga, se podrá obtener un mejor conocimiento sobre los procesos de población de niveles de los iones y será posible realizar un diagnóstico más detallado de las atmósferas calientes.

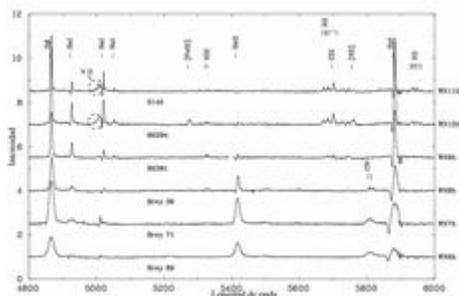


Figura 4: Comparación espectral de observaciones de estrellas WNL de la LMC, obtenidas con el espectrógrafo RGO junto al telescopio angloaustraliano (AAT).

Es interesante comparar también a HDE 269896 con otros objetos que también muestran la emisión de N II, particularmente las estrellas WN10 y WN11⁵ (ver Figura 4), definidas como tal por Crowther y Smith (Astronomy & Astrophysics, año 1997, vol. 320, pág. 500). Estos objetos tienen un espectro más extenso de líneas de emisión, incluyendo un intenso perfil P Cygni He I λ 5016 que junto al perfil de N II λ 5000 forman un blend parcial, el cual diagnostica vientos mucho más densos.

Luego del análisis observacional y teórico efectuado a la estrella HDE 269896 es posible concluir que:

- * La presencia en emisión del blend N II λ 5000 puede ser un diagnóstico de luminosidad, además de abundancia de nitrógeno, en las Supergigantes O tardías.
- * Aún no se ha conseguido modelar una estrella que reproduzca simultáneamente todos los perfiles observados en el espectro de HDE 269896. Es posible que resulte relevante en la formación de dichos perfiles considerar desde un comienzo simetría no esférica y/u otros efectos físicos, no incluidos en los modelos actuales.
- * Algunas estrellas WNVL (Very Late WN) se presentan como LBV (Luminous Blue Variables), como sucede con R127 (Walborn y col., Astrophysical Journal, año 2008, vol. 683L, pág. 33).

Es razonable proponer que HDE 269896, la cual probablemente esté vinculada con R127, deba encontrarse en un estado inmediato de pre-WNVL y que como tal durante su evolución desarrolle vientos más densos y un extenso espectro de líneas de emisión. Es importante recordar que HDE 269896 (Sk -68° 135) está ubicada al norte de 30

Doradus⁶, cerca de la estrella Sk -68° 137 de tipo espectral O2 III(f*), también una probable progenitora WN (Walborn y col., Astrophysical Journal, año 2002, vol. 123, pág. 2754).

(1) Nube Mayor de Magallanes, Abreviada como LMC, del inglés Large Magellanic Cloud

(2) Llamamos blend a la combinación de líneas

(3) Líneas de emisión con absorción en el lado violeta, producidas en estrellas con fuertes vientos

(4) Mínima energía que debe suministrarse a un átomo neutro y en su estado fundamental, perteneciente a un elemento en estado gaseoso, para arrancarle un electrón

(5) Nomenclatura correspondiente a las estrellas Wolf-Rayet cuyos espectros muestran presencia de iones de Nitrógeno. Las estrellas W se distinguen de todas las demás estrellas porque sus espectros muestran líneas de emisión anchas e intensas, producidas por elementos muy ionizados.

(6) Una enorme región con estrellas en formación ubicada en la Nube Mayor de Magallanes