

Estrellas masivas en Cygnus OB2

Autora: Sara Rodríguez Berlanas
(srberlan@iac.es, sara.rb@ua.es)

Tesis doctoral dirigida por:

Artemio Herrero Davó

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias

Fecha de lectura: 26 de julio de 2019

Esta tesis es un compendio de tres artículos (más un capítulo adicional) donde se recogen los frutos de un estudio enfocado en Cygnus OB2, dentro del complejo Cygnus-X, una de las asociaciones de formación estelar OB más cercana, masiva y joven de nuestra Galaxia. Esta región representa un excelente lugar donde estudiar las propiedades, formación y evolución de estrellas masivas en un entorno de formación estelar muy activo. Nuestro objetivo principal es incrementar el conocimiento actual que existe de esta asociación y su población estelar. Para ello, hemos llevado a cabo cuatro estudios diferentes (aunque relacionados) donde se han caracterizado las principales propiedades físicas de su población masiva.

En primer lugar presentamos un estudio de membresía en la región de Cygnus OB2 y sus alrededores con el fin de completar la población de estrellas de tipo temprano conocida hasta el momento. Haciendo uso de nuevos datos observacionales, hemos incrementado el número de miembros OB conocidos (42 nuevos miembros, incluidas 11 estrellas tipo O). Sin embargo, encontramos limitaciones para obtener un censo completo debido a los criterios fotométricos adoptados en los criterios de selección ($B < 16$ mag, $K_s < 9$ mag) y la fuerte, intensa y variable extinción interestelar existente en la zona. Además, hemos determinado una dispersión de edad en Cygnus OB2 de entre 1 y 6 Myr, así como confirmado una correlación entre edad y longitud Galáctica en la región. Esto sugiere que la formación masiva en la zona ha procedido de bajas a altas longitudes Galácticas, es decir, desde Cygnus OB9 hacia Cygnus OB2, con un fuerte pico en la parte norte de esta última.

Dado que existen sólidas indicaciones que apuntan a que muchas de las estrellas masivas de Cygnus OB2 ya han explotado como supernovas a lo largo de su historia, seguidamente hemos realizado un estudio químico de la asociación con el propósito de detectar posibles inhomogeneidades y comprobar si también existe una correlación entre composición química y longitud Galáctica que pudiera evidenciar procesos de autoenriquecimiento. Encontramos una composición química homogénea a lo largo de la longitud Galáctica, sin ninguna evidencia de autoenriquecimiento significativo, con valores medios de $7,53 \pm 0,08$ dex y $8,65 \pm 0,12$ dex para las abundancias de silicio y oxígeno, respectivamente. La estimación de la contribución al enriquecimiento de oxígeno por posibles SNe que habrían explotado en la región nos indica que la detección de estos efectos en una región como Cygnus OB2 está más allá de la precisión de nuestros análisis, evidenciando las dificultades que existen para realizar predicciones cuantitativas del nivel requerido en una región tan activa como esta.

En el tercer estudio de esta tesis, presentamos un análisis de la estructura espacial interna de la asociación haciendo uso

de astrometría *Gaia*-DR2. Se ha cuantificado la subestructura observada a lo largo de la línea de visión mediante el uso de inferencia Bayesiana y la creación de un modelo parametrizado que reproduce la distribución de paralaje observada. De esta manera hemos identificado dos grupos estelares superpuestos pero separados espacialmente por varios cientos de parsecs dentro de Cygnus OB2. El grupo principal se encuentra a unos 1760 pc, es decir, a una distancia más lejana de lo considerado en los últimos estudios. La implicación principal es que su contenido estelar es más masivo y luminoso de lo estimado. El segundo grupo se encuentra unos 400 pc por delante, en torno a 1350 pc, y aparece espacialmente más disperso que el grupo principal. Además, el cálculo de probabilidades individuales de membresía nos ha permitido identificar posibles contaminantes como no miembros de la asociación.

Finalmente, en un último capítulo adicional, presentamos el análisis espectroscópico de la población masiva tipo O conocida hasta el momento en Cygnus OB2. Haciendo uso de nuevos y previos datos observacionales hemos creado el censo espectroscópico de estrellas tipo O más completo hasta el momento de la asociación, consistente en 77 estrellas incluyendo aquellos nuevos miembros identificados en el primer estudio de esta tesis. Así mismo, hemos identificado nuevos sistemas binarios y llevado a cabo el análisis espectroscópico de toda la muestra (excluyendo las estrellas SB2 detectadas) para así obtener la distribución de velocidades de rotación y sus principales parámetros estelares. Encontramos la distribución de velocidades de rotación similar a la obtenida en otras regiones Galácticas (y extragalácticas). Sin embargo, existen algunas diferencias significativas debidas principalmente a la baja resolución de algunos de nuestros datos (que limita la velocidad mínima detectable) y al hecho de que el censo de estrellas O en Cygnus OB2 es aún incompleto, como se detectó en el primer estudio de esta tesis. Adicionalmente, gracias a distancias derivadas a partir de datos astrométricos proporcionados por *Gaia*-DR2, hemos estimado radios, luminosidades y masas espectroscópicas para todas aquellas estrellas con astrometría fiable ($RUWE \leq 1.4$). También hemos derivado masas evolutivas a través de interpolación con trazas evolutivas teóricas, encontrando sistemáticamente $M_{ev} > M_{sp}$. Sin embargo, no podemos concluir ningún patrón obvio debido a las grandes incertidumbres derivadas para las masas evolutivas y a la incompletitud de nuestra muestra. Finalmente, el estado evolutivo general de la asociación ha sido discutido a partir de la creación del diagrama Hertzsprung-Russell (HRD). Confirmamos nuevamente que la formación estelar en la región ha tenido lugar durante los últimos 1-6 Myr, pero por primera vez hemos podido distinguir tres brotes internos: de 1.5, 3 y 5 Myr. Todos tienen un límite superior de masa similar (~ 60 -85 M_{\odot}) aunque en el caso del brote de 5 Myr algunas de sus estrellas podrían haber ya evolucionado a otros estados más tardíos. Además, al usar la versión espectroscópica de este diagrama (sHRD) encontramos resultados acordes, excepto por el hecho de que se derivan masas mayores en este caso. De confirmarse esta tendencia, esto supondría un punto importante a tener en cuenta en el uso del sHRD.

Como apunte adicional, los efectos de no considerar el ensanchamiento de macroturbulencia (v_{mac}) cuando este puede ser considerado como un límite superior, así como las implicaciones de fotometría adoptada y ley de extinción a la hora de caracterizar la extinción interestelar de la región, han sido evaluados. En el primer caso, aunque para nuestra muestra la

distribución de velocidades de rotación no se ve afectada por una posible sobreestimación de v_{mac} , algunos valores individuales de la proyección de velocidad de rotación ($vsini$) varían significativamente. En el segundo caso, encontramos que tanto la fotometría como la ley de extinción usada representan fuentes adicionales de error y tienen un impacto importante en la caracterización de la extinción de regiones muy oscuras, especialmente cuando se usan colores fotométricos en el IR cercano.

Los resultados presentados en el tesis nos aportan, por tanto, una visión ampliada y actualizada de Cygnus OB2, acercándonos a comprender e interpretar con mayor precisión el

origen y evolución de esta asociación de formación estelar, el complejo Cygnus-X y asociaciones OB en general. Esta tesis proporcionará un punto de partida para la optimización y desarrollo del *survey* enfocado en el complejo estelar de Cygnus-X, que se llevará a cabo con el próximo espectrógrafo multiobjeto WEAVE (cuya primera luz se estima para principios del 2020) y proporcionará datos espectroscópicos homogéneos y de alta calidad para varios cientos de estrellas OB de toda la región.

Tesis disponible en:

<https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1793859>
<http://research.iac.es/proyecto/iacob/pages/phd-thesis.php>

Acreción de gas en modo frío en el Universo local

Autora: Amanda María Del Olmo García
(amanda.olmo.garcia@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Jorge Sánchez Almeida y Casiana Muñoz-Tuñón

Centro: Universidad de La Laguna / Instituto de Astrofísica de Canarias

Fecha de lectura: 26 de julio de 2019

Uno de los principales mecanismos de formación de discos de galaxias es la acreción de gas desde el medio intergaláctico (IGM; también llamada *cold-flow*). El gas acretado alimenta y es responsable de la formación estelar en las galaxias. La necesidad de este suministro de gas externo es evidente en las simulaciones numéricas; sin embargo, ha sido bastante difícil de confirmar con observaciones. Esta tesis se centra en el estudio de galaxias extremadamente pobres en metales (XMP), en las que el gas que forma las estrellas tiene una metalicidad inferior a una décima parte de la metalicidad solar. Son relevantes en este contexto porque las XMPs parecen estar atravesando actualmente un evento de acreción de gas. El objetivo de esta tesis es investigar objetos que puedan indagar en este proceso de acreción de gas en el Universo local y explorar varias posibilidades para restringir sus propiedades a través de observaciones. Con este objetivo, realizo diversos estudios. Primero, analizo las propiedades cinemáticas de nueve XMPs para saber si sugieren un evento reciente de acreción de gas. Derivo curvas de rotación y dispersión de velocidad a partir de los parámetros de la línea principal de $H\alpha$, obteniendo que las XMPs presentan movimientos turbulentos mayores que las velocidades de rotación y que las regiones HII parecen moverse de manera coherente. Por otro lado, las alas de la línea de $H\alpha$ presentan unas débiles componentes en emisión que parecen ser producidas por la expansión de estructuras en forma de concha. Del análisis de estas componentes obtengo masas de gas, tasas de pérdida de masa y fracciones de masa arrastrada. Resulta que las galaxias XMP son muy ineficientes en el uso del gas para formar estrellas, esto se demuestra por las grandes fracciones de masa arrastrada que mido. Para no agotar el gas de la galaxia, los flujos de salida de gas deben compensarse con flujos de entrada de gas.

Segundo, busco candidatos de galaxias locales para detectar a su alrededor el medio circumgaláctico (CGM) y el IGM. Para ello, busco galaxias con estructuras no simétricas respecto al eje mayor de la galaxia en las imágenes profundas del proyecto *IAC Stripe 82 Legacy Project*. Las más interesantes primero se seleccionaron y luego se clasificaron según criterios morfológicos. Una de ellas fue seleccionada para una observación como prueba de concepto utilizando el *Gran Telescopio Canarias* (GTC). La observación se basó en la obtención de imágenes profundas para detectar la emisión débil y difusa de $H\alpha$ en el CGM de la galaxia. La estrategia de observación y el proceso de reducción estuvieron orientados a reducir el ruido producido por la emisión del cielo, que es nuestro principal obstáculo. Uno de los resultados de este estudio es la detección de objetos con líneas de emisión alrededor de la XMP. Estos objetos detectados no siguen una distribución uniforme, sino que se disponen a lo largo de determinadas direcciones respecto a la galaxia XMP. También detecto un halo de emisión de bajo brillo superficial alrededor de la XMP. En este trabajo analizo estas detecciones en términos del gas en el CGM y el IGM.

Tercero, exploro la relación entre las galaxias XMP y las galaxias ultradifusas. Como hay galaxias que están atravesando eventos de acreción de gas, debería haber galaxias entre esos eventos: galaxias que comparten las propiedades de un anfitrión de XMP pero sin un estallido de formación estelar pobre en metales. Estas galaxias eran desconocidas hasta ahora. Analizo los espectros de GTC de la galaxia ultradifusa UGC2162 que muestra todas las propiedades para ser una de esas galaxias.

Tesis disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/17639>