

Vientos en núcleos activos de galaxias de baja luminosidad

Autora: Laura Hermosa Muñoz

Tesis doctoral dirigida por: Isabel Márquez y Sara Cazzoli

Centro: Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC

Fecha de lectura: 30 de noviembre de 2022

La tesis se centra en el estudio de los procesos de retroalimentación en galaxias que albergan un Núcleo Galáctico Activo (AGN) de baja potencia. En el extremo de baja luminosidad de la familia de AGNs, encontramos las llamadas regiones nucleares de líneas de emisión de baja ionización (LINERs). Son los AGNs más numerosos del Universo local (>60%) lo que les da la ventaja de poder hacer estudios espacialmente resueltos sobre sus propiedades físicas. Además, se cree que son el eslabón intermedio entre las galaxias activas y las inactivas.

Durante los últimos 20 años, los trabajos sobre galaxias activas y no activas se han centrado en el análisis de los procesos de retroalimentación, en particular los impulsados por los *outflows*. Se cree que estos procesos tienen un papel crucial en la evolución de las galaxias, al regular la formación estelar y la actividad nuclear. Se cree que los *outflows* aparecen en todos los AGNs en algún momento de su evolución, aunque hasta ahora su presencia se había estudiado fundamentalmente en los más luminosos, ya que son más fáciles de detectar y caracterizar. Por el contrario, su presencia en LINERs no se había estudiado de forma sistemática hasta este trabajo.

En esta tesis exploramos la presencia de *outflows* en LINERs usando tres aproximaciones complementarias basadas en datos obtenidos con tres técnicas: imágenes de banda estrecha y espectroscopía de rendija larga y de campo integral (IFS).

En la primera parte, usamos espectros ópticos de rendija larga de la parte nuclear de una muestra de LINERs de tipo 2 con datos del HST. Caracterizamos las líneas de emisión haciendo un ajuste gaussiano, que mostró la existencia de perfiles complejos en algunos objetos. Identificamos los *outflows* como componentes principalmente desplazadas hacia el azul y muy anchas, que solo pueden ser explicados como movimientos no rotacionales del gas. Encontramos en la muestra que un 22% de los LINERs son candidatos a tener *outflows* (Hermosa Muñoz et al. 2020).

En la segunda parte, compilamos con datos propios (ALFOSC/NOT) y de archivo (HST) el mayor atlas de imágenes de H α (gas ionizado) en LINERs hasta la fecha para estudiar sistemáticamente la presencia de *outflows*. Analizamos la morfología del gas ionizado, identificando *outflows* como gas extendido en forma de filamentos, burbujas o conos, identificados para un 32% de la muestra. Sin embargo, la morfología por sí sola no es suficiente como para confirmar la existencia de un *outflow*. Por ello combinamos nuestros datos de imagen con información espectroscópica de la literatura de las galaxias que reportara la detección de *outflows* o movimientos no rotacionales. Usando ambas, encontramos que en el Universo Local aproximadamente el 50% de los LINERs son candidatos a albergar un *outflow* (Hermosa Muñoz et al. 2022).

Finalmente, hicimos un seguimiento de los mejores candidatos con datos de espectroscopía de campo integral, que nos

Imagen del *outflow* en gas ionizado de la galaxia NGC4438, observada con HST. Crédito: NASA/ESA, Jeffrey Kenney (Yale University), Elizabeth Yale (Yale University).



permite no solo confirmar la existencia de estos *outflows*, sino obtener sus principales características (masa, energía, tamaño, etc) de una forma espacialmente resuelta. El primer análisis fue de la galaxia NGC1052, conocida por ser un ejemplo prototípico de LINER. Con datos combinados de alta resolución espacial (MUSE/VLT) y de alta resolución espectral (MEGARA/GTC), pudimos identificar y caracterizar la existencia de un *outflow* de gas ionizado. Nuestros resultados son consistentes con que el jet de esta galaxia sea el conductor principal del gas hacia afuera de la galaxia (Cazzoli, Hermosa Muñoz et al. 2022). Esto es consistente con la idea reportada en trabajos anteriores de la literatura sobre los jets teniendo un impacto importante en la producción de los *outflows*, sobre todo en el caso de AGNs de baja luminosidad.

Tras el caso particular de NGC1052, continuamos el trabajo con la muestra principal de galaxias con datos de MEGARA/GTC. Encontramos confirmación cinemática de *outflows* para un 75% de la muestra, en algunos casos extendidos y similares al caso de NGC1052 (Hermosa Muñoz et al. in prep.).

Por tanto, de manera general, nuestro trabajo indica por primera vez que los *outflows* son comunes en LINERs. Además, abre una nueva vía de exploración sobre cómo se producen los *outflows* en LINERs y cuál es la contribución que tienen los jets, ya que hemos encontrado relación entre ambos sucesos. Esa línea abierta sobre la relación de los *outflows* en el óptico con el radio se va a continuar con otra tesis doctoral en el IAA (iniciada en octubre de 2022).

Tesis disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/79133>

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.

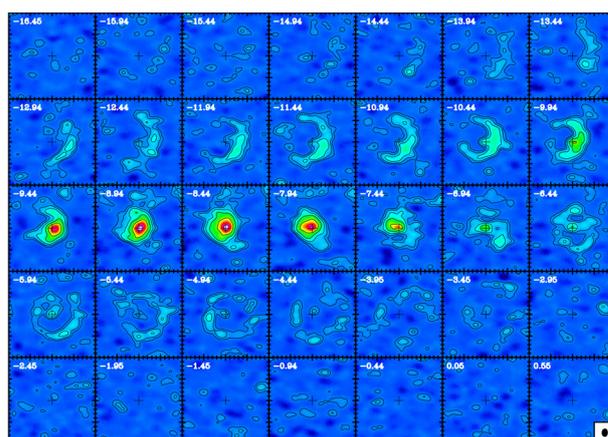
Uno de los pilares de esta tesis es el estudio cinemático de cuatro de estos objetos a partir de mapas interferométricos obtenidos con NOEMA de las líneas ^{12}CO y ^{13}CO $J = 2 - 1$, así como de su posterior modelado para poder extraer información cuantitativa. Estos mapas revelan la presencia de 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, SO_2 , HCO+ y emisión máser de H_2O 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, C^{17}O , y C^{18}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, H_2O , C^{17}O , y C^{18}O (y H^{13}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 nuestros objetos como oxigenada ($\text{C/O} < 1$) o carbonada ($\text{C/O} > 1$): 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-ae7c-38645d5cce5e>

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



Formación estelar en cúmulos de alta y baja masa: explorando las condiciones iniciales y el *feedback* en protoestrellas y sus discos

Autora: Mara Elizabeth Pelayo Baldárrago

Tesis doctoral dirigida por:

Aurora Sicilia Aguilar

Centro: Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 30 de marzo de 2023

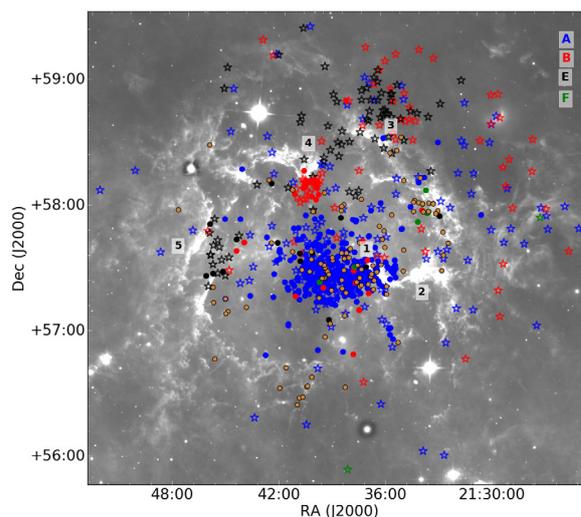
Dentro de los estudios de formación estelar en cúmulos de alta y baja masa, se cree que la huella de las condiciones iniciales tiene un efecto directo en la eficiencia de formación estelar (SFE, p. ej., Rohde et al., 2021), en la función inicial de masa (IMF, Hsu et al., 2013) y en las propiedades de los discos protoplanetarios y su posterior evolución (e.g., Fang et al., 2009).

En mi trabajo de tesis, estudié el impacto de las condiciones iniciales en los procesos de formación de las estrellas y sus discos en diferentes entornos, utilizando dos jóvenes regiones de formación estelar como regiones referentes: una región HII con formación estelar de alta masa, IC1396, y el cúmulo del Coronet, el cual es una región de formación estelar sin estrellas masivas pero con una alta densidad estelar. Esta tesis presenta un estudio global y sistemático de ambas regiones en relación con los procesos de formación estrella-disco. Realicé la caracterización observacional de las interacciones entre las estrellas y el entorno del cúmulo, la distribución espacial, la edad y masa de los miembros, la fracción de discos, la estructura de velocidad, y exploré los efectos del *feedback* y la densidad estelar para obtener un panorama general de la historia de formación de ambas regiones. Combiné varias técnicas y observaciones multilongitud de onda y multitrizadores, incluyendo imágenes en el óptico y el infrarrojo cercano junto con mapas de *Herschel* y *Spitzer*, espectros ópticos, datos milimétricos en el continuo y líneas moleculares y datos de *Gaia*. Esto me permitió estudiar las dos regiones a diferentes profundidades y escalas.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar la estructura y propiedades de ambas regiones y sus miembros, así como las condiciones iniciales que afectan el proceso de formación estrella-disco. La historia de formación de la región IC1396 es compleja. Los datos de *Gaia* EDR3 confirman una distancia de 925 pc. IC1396 está compuesta de cuatro subcúmulos y una población extendida. Los cuatro subcúmulos son significativamente diferentes en movimiento propio, pero no en paralaje. También encontré diferencias entre las edades de los subcúmulos y los miembros de estos no están distribuidos espacialmente de manera uniforme por la región. Los miembros del subcúmulo A están concentrados en el centro de la región y los miembros de los subcúmulos B y E distribuidos por el borde de la región, cerca de las principales nubes de borde brillante (ver figura). Asimismo, encontré que la región se está expandiendo de forma global, señal de que no está gravitacionalmente ligada. La combinación de la cinemática, la edad y las diferencias de estado evolutivo en los grupos de fuentes dentro de la misma nube indica que la región ha sufrido múltiples episodios de formación estelar a través del tiempo,

probablemente desencadenada por diferentes mecanismos. Esta tesis también demostró la importancia de los datos de *Gaia* al completar los cartografiados de cúmulos, incluyendo estrellas de masa intermedia.

La historia de formación del cúmulo del Coronet no es tan dramática. Los datos de *Gaia* DR3 confirman una distancia de 154 pc. Aunque nuestro estudio se restringe al pequeño cúmulo en la región R CrA, encontramos que el *feedback* de las estrellas de baja masa e intermedia está afectando a la nube y a las condiciones iniciales de la formación estelar posterior debido a su alta densidad estelar. Encontramos que el *feedback* estelar por estrellas de masa baja e intermedia ($2-3 M_{\odot}$) tiene efectos disruptivos en escalas de unos pocos miles de unidades astronómicas. Los mapas de temperatura y densidad indican que estos efectos son suficientes como para evitar la formación estelar en regiones de alta densidad cercanas a las estrellas de masa intermedia. Por el contrario, regiones de alta densidad alejadas de estrellas de masa intermedia muestran señales de colapso, con la consecuente formación estelar. La cinemática de los miembros revela que no hay diferencias significativas entre los distintos miembros del cúmulo, lo cual indica que todo es parte del mismo grupo o filamento. La dispersión en las velocidades en el plano del cielo (movimientos propios) y velocidades radiales es también consistente. Finalmente, la cinemática del gas indica que este no está gravitacionalmente ligado en la parte central del cúmulo. Estos resultados, junto con nuestras observaciones del *feedback* estelar, sugieren que las estrellas de masa intermedia podrían estar dispersando la nube y deteniendo la formación estelar, y también podrían explicar la baja masa y el estadio evolutivo de los discos protoplanetarios observados en este cúmulo.



Distribución espacial de los miembros conocidos (círculos) y nuevos (pentágonos) de la región IC1396. La imagen del fondo es un mosaico de $\sim 4^{\circ} \times \sim 4^{\circ}$ de la región de IC1396, a partir de imágenes de WISE ($22.2 \mu\text{m}$). Los colores representan los cuatro subcúmulos (A, B, E, F) como indica la leyenda. Los círculos naranjas señalan los miembros conocidos que no pertenecen a ningún subcúmulo. El tamaño de los símbolos representa la edad, considerando un rango entre 0,1 a 20 Myr, y siendo los más jóvenes los símbolos más grandes. Los números en negro indican las principales nubes de borde brillante (BRCs), 1=IC1396 A, 2=IC1396 B, 3=IC1396 D, 4=IC1396 N, 5=IC1396 G (Pelayo-Baldárrago et al. 2023).

Técnicas experimentales para el estudio de galaxias distantes con instrumentación puntera de GTC

Autora: Cristina Cabello González
(criscabe@ucm.es)

Tesis doctoral dirigida por: Jesús Gallego
Maestro y Nicolás Cardiel López

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 25 de mayo de 2023

Durante las últimas décadas, la astronomía observacional ha experimentado una revolución debido tanto a la construcción de telescopios cada vez más grandes que nos permiten observar objetos más lejanos y débiles, como a los avances tecnológicos que han permitido diseñar instrumentos muy precisos y potentes. El Gran Telescopio Canarias (GTC) es actualmente el mayor telescopio óptico-infrarrojo del mundo y está equipado con instrumentos científicos de última generación que, en conjunto, ofrecen una amplia variedad de modos de observación. Esta combinación de gran área colectora e instrumentación avanzada es clave para abordar los retos astronómicos actuales.

En esta tesis exploramos las capacidades y prestaciones de los principales instrumentos de GTC empleando diferentes modos de observación (fotometría de banda estrecha en el infrarrojo cercano, espectroscopía de rendija larga en el infrarrojo cercano y en el óptico, espectroscopía multiobjeto en el infrarrojo cercano y espectroscopía de campo integral en el óptico) para proporcionar información sobre la población de galaxias a alto desplazamiento al rojo (z).

Es importante destacar que los instrumentos modernos generan una enorme cantidad de datos que los astrónomos tienen que procesar antes del análisis científico. Además, debido a la complejidad de los nuevos modos de observación, el proceso

de reducción no es trivial y se requiere un gran esfuerzo para calibrar los datos con precisión, lo que suele aumentar el tiempo transcurrido entre las observaciones y la publicación científica de los resultados. Conscientes de este importante hecho, desarrollamos, y posteriormente pusimos a disposición de la comunidad astronómica en GitHub, los códigos de *Python* y los cuadernos de *Jupyter* empleados para la calibración precisa de diferentes conjuntos de datos de los instrumentos CIRCE, EMIR, OSIRIS y MEGARA del GTC.

Los principales objetivos de esta tesis son: (1) la identificación de varios casos científicos relacionados con fuentes lejanas para explorar tanto el potencial como las posibles limitaciones de los diferentes modos de observación de cada instrumento del GTC, (2) el desarrollo de técnicas y métodos experimentales para el tratamiento de cada conjunto de datos específico, y (3) la implementación de la política de ciencia abierta, proporcionando no solo la metodología sino también los códigos necesarios para que nuestro trabajo sea accesible y fácilmente reproducible.

En particular, los casos científicos presentados en esta tesis abordan proyectos desafiantes que van desde la búsqueda de emisores Lyman- α (LAEs, de sus siglas en inglés) a $z = 9,3$, al estudio de grandes muestras de galaxias de baja masa con formación estelar en torno a $z \sim 1$, la caracterización de un particular blazar a $z \sim 3,6$, y finalmente el estudio espacialmente resuelto de una galaxia local clasificada como potencial emisora de fotones del continuo de Lyman (LyC, de sus siglas en inglés) y análoga a las galaxias de la época de la reionización.

Estos proyectos condujeron a (1) la derivación de restricciones observacionales en la función de luminosidad Ly α a $z \sim 9$ utilizando la técnica de filtro estrecho y la cámara infrarroja CIRCE; (2) la caracterización del modo multiobjeto del espectrógrafo infrarrojo EMIR y la identificación de los graves problemas de sensibilidad del detector actual; (3) el descubrimiento del primer emisor en rayos gamma de tipo BL Lacertae a $z > 3$ utilizando la combinación de los modos de rendija larga de EMIR (en el infrarrojo cercano) y OSIRIS (en el óptico); (4) la identificación de variaciones espaciales en las propiedades físicas y la estructura ionizante de una galaxia análoga a las primeras galaxias utilizando datos ópticos de la unidad de campo integral de MEGARA. Además, también desarrollamos un script en Python para complementar la pipeline de reducción de datos de MEGARA y proporcionar, por primera vez, una estimación de las incertidumbres aleatorias de cualquier parámetro que pueda derivarse utilizando datos de MEGARA.

Los principales resultados de estos proyectos pueden encontrarse en Cabello et al. (2022), Paliya, Domínguez, Cabello et al. (2020), y Cabello et al. 2023 *en preparación*. Además, los hallazgos de esta tesis refuerzan el caso técnico y científico presentado en Salvador-Solé et al. (2022) y Garzón et al. (2022).

En conclusión, esta tesis explora y proporciona los métodos y técnicas para realizar un cuidadoso procesado y análisis de los datos tomados con diferentes instrumentos del GTC en sus múltiples modos de observación. Siguiendo la política de acceso abierto, las rutinas y los códigos *Python* desarrollados en este trabajo se han puesto a disposición pública para el uso de la comunidad astronómica. Esto asegura una reproducibilidad justa de los resultados de la investigación y promueve una ciencia más eficiente. Además, la metodología puede transferirse fácilmente a cualquier instalación en el infrarrojo cercano y óptica, lo que convierte a este documento en un marco de referencia para los futuros instrumentos que se montarán en los telescopios de próxima generación, los telescopios gigantes.

Representación artística de la cúpula e interior del Gran Telescopio Canarias (GTC).



Cosmología con la medida de la escala de las oscilaciones acústicas de bariones en grandes cartografiados de galaxias

Autor: Juan Mena Fernández
(juanmena95@hotmail.es)

Tesis doctoral dirigida por: Eusebio Sánchez
Álvaro e Ignacio Sevilla Noarbe

Centro: Centro de Investigaciones Energéticas,
Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

Fecha de lectura: 19 de octubre de 2023

La cosmología ha experimentado una revolución en las últimas décadas, impulsada por los avances en técnicas de observación, modelos teóricos y capacidades computacionales. Entre sus logros más significativos está el establecimiento de Λ CDM como el modelo cosmológico estándar, el cual ha transformado nuestra comprensión de la composición y evolución del Universo. Λ CDM describe el Universo como compuesto principalmente de energía oscura en forma de una constante cosmológica, Λ ; materia oscura fría (CDM); y materia bariónica ordinaria. Dicho modelo explica con éxito una amplia gama de observaciones cosmológicas, incluida la expansión acelerada del Universo, la radiación del fondo cósmico de microondas, la abundancia de elementos ligeros y la distribución de galaxias a gran escala.

Esta tesis ha sido desarrollada dentro de las colaboraciones *Dark Energy Survey* (DES) y *Dark Energy Spectroscopic Instrument* (DESI). Estos proyectos tienen como objetivo establecer medidas precisas sobre la naturaleza de la energía oscura y, también, estudiar la estructura a gran escala del Universo. Grandes cartografiados de galaxias como DES y DESI representan un papel fundamental en el aumento de nuestra comprensión de la cosmología dentro del marco del modelo Λ CDM. Una de las sondas cosmológicas clave utilizada en sus estudios es la medida de la escala de las oscilaciones acústicas de bariones (BAO), que son las huellas de las ondas de sonido primordiales del Universo primitivo que dejaron rasgos característicos en la distribución a gran escala de la materia. La

escala de las BAO sirve como una “regla estándar” en cosmología, proporcionando medidas precisas de distancias cósmicas que pueden usarse para constreñir parámetros cosmológicos, como la densidad de la materia, la constante de Hubble y la ecuación de estado de la oscura.

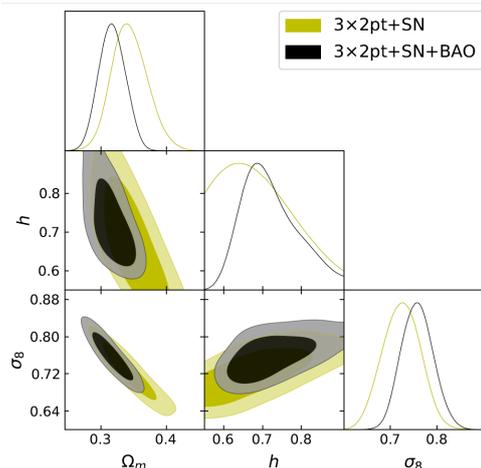
En esta tesis desarrollamos un método de ajuste de la escala BAO basado en plantillas para extraer la información sobre dicha escala de la función de correlación angular. Estudiamos la aplicabilidad y validez de dicho método, y mostramos que sus resultados son robustos frente a variaciones en la cosmología de la plantilla y, también, frente a variaciones en la configuración predeterminada para los ajustes. Una vez validado, el método se aplica los datos del año 3 de DES, donde obtenemos una medida de la distancia de $d_M(0.835)/r_d = 18,94 \pm 0,48$, que es consistente con Planck a $2,5\sigma$. Esto representa la medida de la escala BAO más precisa de un cartografiado de galaxias fotométrico hasta la fecha, con un error relativo del 2,6%. Combinando nuestra función de verosimilitud de BAO con las otras principales del año 3 de DES, a saber, $3\times 2pt$ (combinación de *galaxy clustering* y *weak lensing*) y supernovas, encontramos medidas más precisas de h , Ω_m y σ_8 . Después de la combinación, la distribución de probabilidad de h es más simétrica, con una ganancia en el poder de restricción de 20%; el error en Ω_m se reduce en 25%; y la determinación de σ_8 mejora un 16% (ver figura).

Por otro lado, en esta tesis también describimos el análisis BAO del año 6 de DES. Primero, realizamos una optimización de la muestra del año 6, y prevemos un aumento de precisión de un 25% en la medida de la escala BAO con respecto al análisis del año 3. Luego, utilizamos nuestro método de medida de la escala BAO en las simulaciones del año 6, donde encontramos que el aumento en la precisión con respecto al año 3 es consistente con lo que esperamos de las previsiones.

Finalmente, estudiamos el impacto de las incertidumbres sistemáticas relacionadas con la distribución de ocupación en halos (HOD) en el contexto del análisis de los datos del año 1 de DESI. En particular, hacemos este análisis para galaxias rojas luminosas (LRG), uno de los tipos de galaxias que DESI utiliza para sus estudios. Encontramos un límite superior para el error sistemático de HOD de $0,2\sigma_{\text{stat}}$ en la medida de la escala BAO, tanto a lo largo de la línea de visión como perpendicular a la misma. Futuros trabajos nos permitirán estimar este resultado con mayor precisión y estudiar su efecto al combinarse con las otras fuentes de errores sistemáticos de DESI.

Tesis disponible en:

https://drive.google.com/drive/folders/1KnvgQmWLwzL7P9mrTufEi9uOU_QMu2Kz?usp=share_link



Contornos en h , Ω_m y σ_8 para el análisis del año 3 de DES, marginalizando en todos los demás parámetros. En amarillo se muestran los resultados de la combinación de $3\times 2pt$ y supernovas (SN) y en negro incluimos, también, el BAO. Encontramos que los contornos reducen su tamaño al incluir nuestra medida de BAO, incrementando el poder de restricción de DES.

