



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN ASTROFÍSICA

ESTUDIO INTEGRAL DE NÚCLEOS ACTIVOS DE GALAXIAS: DESDE LA
REGIÓN DE LÍNEAS ANCHAS HASTA LA GALAXIA ANFITRIONA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

PRESENTA:
EDGAR CORTES SUÁREZ

TUTORES PRINCIPALES
DR. HÉCTOR MANUEL HERNÁNDEZ TOLEDO¹
DRA. CASTALIA ALENKA NEGRETE PEÑALOZA²

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
DRA. DEBORAH DULTZIN KESSLER¹
DRA. MARIANA CANO DÍAZ¹
DR. SEBASTIÁN FRANCISCO SÁNCHEZ SÁNCHEZ¹

¹INSTITUTO DE ASTRONOMÍA CU
²CONACyT INSTITUTO DE ASTRONOMÍA

CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO, JUNIO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



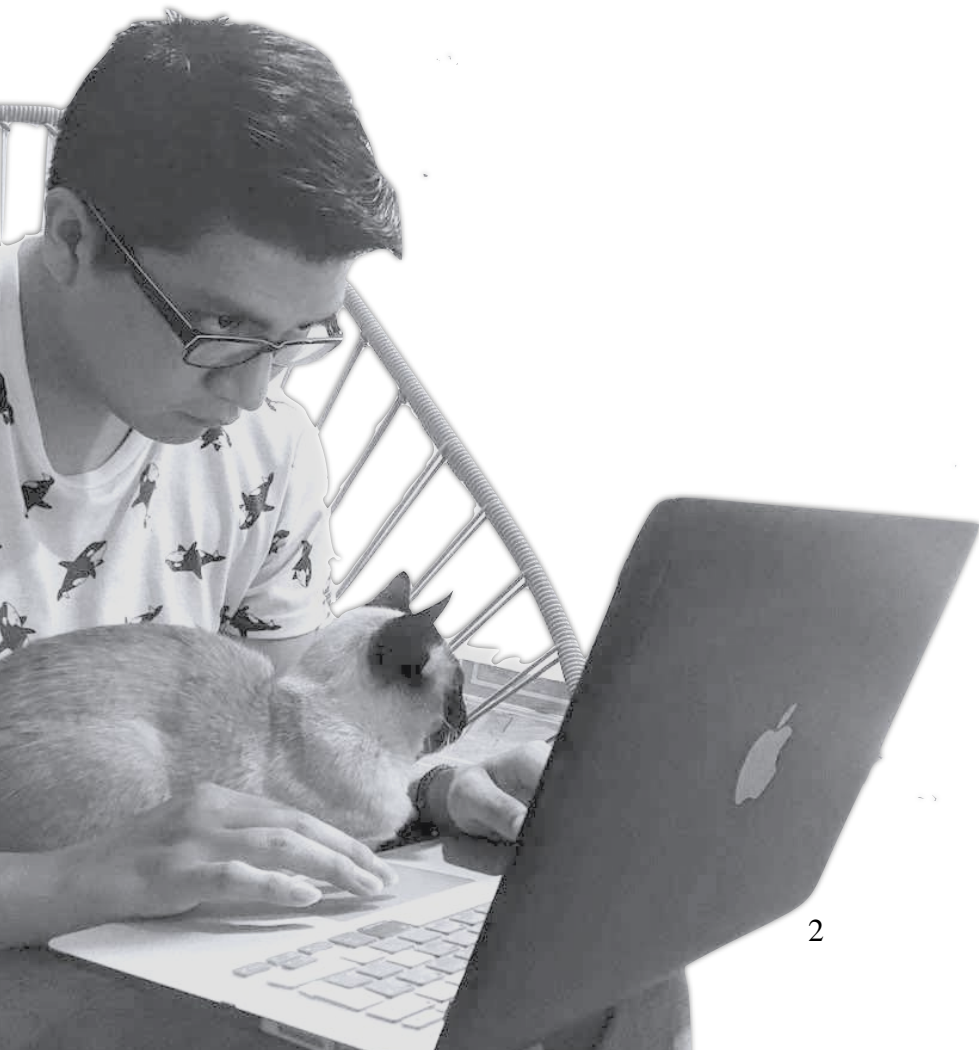
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Para Jiren,
cuyos ojitos azules
vieron nacer y crecer
este proyecto*



Resumen

En la siguiente tesis se realizó un estudio de una muestra de galaxias con núcleo activo (AGN) para estudiar simultáneamente la región central donde se localiza el agujero negro supermasivo y el resto de la galaxia anfitriona. Para lograrlo, se utilizaron los datos del catastro MaNGA (Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory), el cual, se dedicó a observar con la técnica de espectroscopía de campo integral (IFS) a una selección de $\sim 10,000$ galaxias cercanas ($z < 0.15$). Esta técnica permite obtener cubos de datos, que están compuestos por espectros resueltos a lo largo de un amplio intervalo de longitud de onda que va de los 3,600 a los 10,300 Å en cada uno de los pixeles contenidos dentro del campo de visión observado. Dado que la región más próxima al agujero negro (el disco de acreción y la región de líneas anchas) no puede ser resuelta, se usa la espectroscopia para inferir su cinemática y sus propiedades físicas. Para ello se modelan las líneas de emisión anchas, propias de los AGNs tipo 1 y en este trabajo se desarrolló una herramienta que utiliza la intensidad de la componente ancha de H α para localizarlas en grandes bases de datos y que actualmente se encuentra publicado en el Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Cortes-Suárez et al., 2022). Dicha herramienta se utilizó en el Data Release 15 del Sloan Digital Sky Survey (DR15, SDSS) compuesto por 4636 galaxias, encontrando una muestra de 47 AGNs tipo 1 ($\sim 1\%$ de la muestra inicial). Una vez seleccionada la muestra, se comenzó con analizar la región nuclear tomando los espectros integrados de los 3 segundos de arco centrales de los cubos de datos de MaNGA. Para realizar un correcto análisis espectral, se sustrajo la componente estelar de los espectros utilizando dos software con filosofías diferentes: *Starlight* para espectros unidimensionales y *QDeblend3D* para cubos de datos y posteriormente se hizo un ajuste a los espectros de líneas de emisión. De éste último paso, se pueden obtener propiedades de las componentes anchas de las líneas de Balmer como su anchura a la altura media (FWHM) y su luminosidad, a partir de las cuales se estimaron las masas de los agujeros negros supermasivos (SMBH) encontrando valores dentro del intervalo $10^{5.61} - 10^{8.89} M_{\odot}$ con errores sistemáticos de (0.27 - 0.57) dex. Estas masas corresponden a SMBH de baja masa e intermedia. También se estimaron sus cocientes de Eddington ($\log R_{\text{Edd}}$) definido como el cociente de las luminosidades bolométrica y de Eddington, el cual es un parámetro proporcional a la relación masa-luminosidad y esta fuertemente relacionado con la acreción de material en el agujero negro. Los valores obtenidos se encuentran en el intervalo $-4.03 < \log R_{\text{Edd}} < -0.76$, teniendo 7 objetos con alta acreción ($-0.1 < \log R_{\text{Edd}} < 0$). Así mismo, en Cortes-Suárez et al., 2022 se recopiló la información de la muestra seleccionada en diferentes longitudes de onda para estimar sus luminosidades: del catálogo WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer) para el infrarrojo, de FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty-Centimeters sur-

vey) y NVSS (National Radio Astronomy Observatory Very Large Array Sky Survey) para el radio continuo, y usando ROSAT (ROentgen SATellite catalog) para los rayos X. A partir de la luminosidad en radio se identificaron 5 HERG (radiogalaxias de alta excitación) y 4 LERG (radiogalaxias de baja excitación), tres mostrando evidencia visual de radio-jets en los mapas tomados por FIRST. También se compararon las luminosidades en el óptico, la luminosidad de la componente ancha de $H\alpha$, $L_{H\alpha BC}$, y la luminosidad de $[OIII]\lambda 5007$, $L_{[OIII]}$, con las luminosidades en el radio, rayos X e infrarrojo. Encontramos que la $L_{H\alpha BC}$ provee correlaciones similares que $L_{[OIII]}$. La correlación con la emisión de la región de líneas anchas es esperada dada la proximidad que tiene con el agujero negro supermasivo. Como resultados complementarios, se encontró que 84% de los AGNs tipo 1 reportados muestran un grado de variabilidad en el perfil y la intensidad de sus componentes anchas al comparar dos espectros observados a diferente época (SDSS y MaNGA de entre 3 y 16 años). También se utilizaron los índices espectrales, I_H e $I_{H\beta}$, para clasificar los espectros de AGN tipo 1 según diferentes niveles de contribución de AGN-galaxia anfitriona. Para I_H se mide la presencia de la línea de absorción de CaII H siendo muy intensa cuando se tiene baja presencia del AGN y domina el espectro estelar de la galaxia anfitriona y para $I_{H\beta}$ se mide la presencia de la componente ancha de $H\beta$, estando presente cuando el AGN domina el espectro y la contribución estelar de la galaxia anfitriona es muy baja. A partir de estos índices, se clasificó la muestra en 9 objetos dominados por el AGN, 24 dominados por la galaxia anfitriona y 14 con ambas contribuciones a los que denominamos intermedios. Encontramos que este sistema de clasificación tiene correlación con varios parámetros de los AGNs como la luminosidad en el continuo a 5100\AA , la tasa de acreción, la contribución nuclear en el flujo total de la galaxia, entre otros. También se encontró que la variabilidad de los espectros correlaciona con los cocientes de Eddington encontrando que los objetos con mayor variabilidad son los que tienen mayores tasas de acreción.

En Hernández-Toledo, Cortes-Suárez et al. (2023) y del cual soy segundo autor, se estudió la incidencia de fusiones galácticas en estos 47 AGNs tipo 1 más 236 AGNs tipo 2 (encontrados en Cortes-Suárez et al., 2022) y otros mecanismos que pueden encender a un núcleo activo. Se estudiaron las propiedades físicas globales de sus galaxias anfitrionas como, su masa estelar, color y tipo morfológico y se compararon con las de una muestra control compuesta por el resto de galaxias del DR15 que no tienen núcleo activo. Se hizo una comparación directa de éstas propiedades así como después de realizar una corrección por volumen ya que la muestra de MaNGA no es representativa del Universo local. En ambas comparaciones, se encontró que los núcleos activos se localizan en galaxias de tipo temprano, de colores más rojizos y con las de mayor masa estelar. En cuanto al encendido del núcleo activo, se utilizaron dos métodos para identificar cuantas de las galaxias están en un estado de fusión o no. Se aplicó en las galaxias con núcleo activo así como en otra muestra control con las mismas distribuciones en masa estelar, tipo morfológico, color y corrimiento al rojo pero sin núcleo activo. El primer método es el Linear Discriminant Analysis (LDA), el cual considera 7 indicadores fotométricos a partir de los cuales se puede identificar si una galaxia esta

perturbada por una fusión o no utilizando imágenes de SDSS en la banda r . El otro método fue visual, buscando huellas de mareas utilizando imágenes de SDSS y de DESI Legacy Survey (Dark Energy Spectroscopic Instrument) en la banda r . Se encontró que hay una fracción más alta pero estadísticamente significativa de fusiones importantes en nuestra muestra combinada de AGNs tipo 1 y 2 en comparación con la muestra de control sin AGN, apoyando la idea de que un mecanismo externo a través de la fusión de galaxias puede inducir la actividad AGN observada. Así mismo, se encontró que más de la mitad de las galaxias que tienen AGN son barradas en contraste con la muestra de control. Por lo tanto, las barras también pueden ser un mecanismo (interno) de activación de AGN. En esta tesis, además, se describe un estudio cualitativo de mapas de velocidad y de líneas de emisión extraídos de Marvin, el cual, es una herramienta específicamente diseñada para visualizar y analizar los datos de MaNGA. En dichos mapas pudimos notar perturbaciones tanto en la cinemática de las galaxias anfitrionas como en la emisión de $H\alpha$ que pudieron ser debido a la presencia del núcleo activo.

La muestra completa de AGNs tipo 1 se derivó del último Data Release de MaNGA (DR17 de SDSS), compuesto por 10,225 galaxias, encontrando 103. En esta tesis se presenta el análisis preliminar de esta muestra completa de AGNs de líneas anchas. Se incluye el reporte de sus propiedades globales tanto de la región nuclear siguiendo el análisis del primer artículo, como en la galaxia anfitriona tal y como se realizó en el segundo artículo. Como trabajo a futuro planteamos publicar el análisis para esta muestra así como la búsqueda de más correlaciones entre la región de líneas anchas y las galaxias anfitrionas de los AGNs tipo 1.

Índice general

	Page
1. Introducción	8
1.1. Núcleos Activos de Galaxias y sus propiedades	9
1.2. Importancia del estudio de los AGNs	14
1.3. Identificación de AGNs	15
1.4. Propiedades físicas de los AGNs	16
1.5. Parámetros observables de las galaxias	20
1.6. Encendido del núcleo activo	21
1.7. Hipótesis	22
1.8. Esquema de la Tesis	24
2. Metodología	25
2.1. El catastro MaNGA	25
2.2. Estudio de la región de líneas anchas	27
2.3. Estudio de la galaxia anfitriona	28
3. Método de búsqueda de AGNs en grandes catastros	29
3.1. La muestra de AGNs tipo 1	29
3.2. Otros catálogos	34
3.3. Familias de AGNs	38
3.4. Primer Artículo: SDSS-IV MaNGA: Identification and Multiwavelength Properties of Type-1 AGN in the DR15 sample	41
4. Análisis de la región interna: Estimación de parámetros del AGN y variabilidad	66
4.1. Sustracción de la galaxia anfitriona	66
4.2. Starlight vs QDeblend3D	73
4.3. Análisis espectral	74
4.4. BPT vs método de cociente de flujos	80
4.5. Variabilidad	83
4.6. Estimación de parámetros de los AGNs Tipo 1	88
4.7. Variabilidad y estado de acreción.	97

5. Análisis de la Galaxia Anfitriona: Propiedades fotométricas	100
5.1. Parámetros morfológicos	101
5.2. Encendido del AGN	104
5.3. Fusión de galaxias: Parámetro LD1	104
5.4. Galaxias vecinas	105
5.5. Incidencia de Barras	108
5.6. Mapas de velocidad y de líneas de emisión	110
5.7. Segundo Artículo: SDSS-IV MaNGA: The Incidence of Major Mergers in type I and II AGN Host Galaxies in the DR15 sample.	114
6. Resultados y conclusiones	138
6.1. Resultados de la obtención de la muestra	138
6.2. Resultados de la región de líneas anchas	139
6.3. Resultados de la galaxia anfitriona	141
6.4. Relaciones de escala entre ambas regiones	144
6.5. Conclusión final y trabajo a futuro	146
6.6. Agradecimientos	147
A. Estimación de la distancia comóvil	148
B. Ajustes de Starlight	150
C. Ajustes de QDeblend3D y comparación con Starlight	156
D. Ajustes de las líneas de emisión	162
Referencias	198

1 Introducción

En el Universo existen diferentes objetos de estudio, desde el nivel de partículas y moléculas elementales (con masas de 10^{-30} kg) hasta los supercúmulos de galaxias más grandes (con masas de 10^{50} kg), siendo el mismo Universo el objeto de estudio más grande. Cada uno de estos objetos se investiga en áreas específicas de la Astronomía y se pueden estudiar utilizando diversas longitudes de onda del espectro electromagnético, como radio, infrarrojo, óptico, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Cada longitud de onda proporciona información única sobre las propiedades y características de los objetos celestes. En el caso de las galaxias, que de manera general pueden describirse como el conjunto de gas, polvo y estrellas unidas gravitacionalmente dentro de un halo de materia oscura, pueden ser vistas a todas las distancias hasta donde alcanzan nuestras observaciones. Aún más lejos podemos ver cuasares: la luz de los cuasares más distantes que se han observado hasta ahora se emitió cuando el Universo tenía ~ 670 millones de años (Wang et al., 2021) y ~ 690 millones de años (Bañados et al., 2018). El descubrimiento de éste tipo de objetos a edades tempranas del Universo es importante en el estudio de los agujeros negros supermasivos y la relación que tienen con su galaxia anfitriona. Las relaciones de escala que existen entre algunas propiedades de la galaxia anfitriona como su masa estelar total, la masa estelar del bulbo y la dispersión de velocidades (por mencionar algunas) con la masa del agujero negro supermasivo, han llevado a pensar que todas las galaxias poseen agujeros negros supermasivos, y que éstos crecen y coevolucionan con su galaxia anfitriona (Ferrarese y Merritt, 2000; Kormendy y Ho, 2013). El cómo se relacionan ambos sigue siendo tema de estudio ya que actualmente el porcentaje de agujeros negros activos es considerablemente menor comparado a edades tempranas del Universo (Netzer, 2013).

En esta tesis se llevó a cabo la búsqueda de galaxias con núcleo activo dentro de la muestra de galaxias con espectroscopia de campo integral (Integral Field Spectroscopy por sus siglas en inglés, IFS) del proyecto MaNGA (Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory, Sloan IV) y después se buscó evidencia de los posibles efectos que éste produce en las galaxias anfitrionas. A lo largo de este primer capítulo se dará un repaso general de los núcleos activos, que son, como se clasifican, como se encuentran y que propiedades podemos estimar de ellos. Así mismo, se describen los posibles efectos que pueden tener sobre su galaxia anfitriona, que evidencias se tienen de su coevolución y que parámetros físicos de las galaxias anfitrionas pueden verse afectadas por un núcleo activo.

1.1. Núcleos Activos de Galaxias y sus propiedades

Un Núcleo Activo de Galaxia (AGN, por sus siglas en inglés) es la manifestación observada de la acreción de gas hacia un agujero negro supermasivo (Super Massive Black Hole por sus siglas en inglés, SMBH). Este proceso genera emisión térmica y no térmica que, de acuerdo a Brecher et al., 1977; Antonucci, 1993; Urry y Padovani, 1995; Netzer, 2015; Hickox y Alexander, 2018, poseen las siguientes propiedades:

- Emiten en todo el espectro electromagnético, desde el radio hasta los rayos gamma.
- La región emisora es de alta luminosidad. Comprende valores de entre 10^{38} a 10^{47} erg s^{-1} . La acreción es un proceso altamente eficiente (5-42 % de la masa es convertida en emisión, dependiendo de la geometría). Debido a esto, los AGNs son los objetos no explosivos más luminosos que se encuentran tanto en el Universo cercano y hasta $z \sim 7$.
- Variabilidad en todos los intervalos espectrales, en todas las escalas de tiempo y con un intervalo muy grande de amplitudes.
- La región donde se genera la emisión es compacta, con tamaños menores a los 10 pc y tiene un núcleo óptico brillante.
- Se tienen dos tipos de emisiones: las térmicas (o de cuerpo negro) que son responsables de la emisión conocida como “joroba azul” y que es observada en el ultravioleta y el óptico y, las no-térmicas (dada por electrones libres interactuando con núcleos atómicos o campos magnéticos) que tienen excesos en las regiones espectrales correspondientes al radio, infrarrojo, ultravioleta, rayos X y en ocasiones, rayos gamma.
- Poseen líneas de emisión¹, con anchos en velocidad del orden de varias centenas a miles de $km s^{-1}$.

La emisión en las diferentes regiones espectrales pueden explicarse usando las siguientes componentes observables constitutivas de un AGN:

1. Una fuente central de continuo ionizante. La acreción de gas produce un disco de material, ópticamente grueso (llamado “disco de acreción”), el cual, emite en el ultravioleta y el óptico. El espectro muestra aproximadamente una ley de potencias. (Accretion Disc, figura 1.1).
2. Una región de emisión de líneas anchas (Broad Line Region - BLR), que se identifica con una región de gas denso con velocidades altas, situada entre 0.1 y 1 pc de la fuente central (Broad Line Region, figura 1.1).

¹En algunos blazares como los objetos BL Lac, subtipo de AGN, puede incluso no verse ninguna línea de emisión debido a que el jet relativista apunta casi directamente hacia la Tierra.

3. Una región de emisión de líneas delgadas (Narrow Line Region - NLR), que se identifica con una región de gas de baja densidad y con velocidades menores a las presentes en la BLR, situada entre 10 y 100 pc de la fuente central (Narrow Line Region, figura 1.1).
4. La emisión observada en el infrarrojo proviene de una región externa conocida como "toro de polvo". Ésta absorbe y reemite la radiación proveniente de las regiones internas (Dusty Absorber, figura 1.1).
5. La emisión no térmica se encuentra asociada a emisión colimada de un plasma que usualmente presenta una estructura característica de chorros (jets) o lóbulos dobles a distancias de kpc o Mpc de la fuente central. A los objetos que presentan este tipo de emisión se les conoce como *Radio emisores*. Frecuentemente se observa también una fuente compacta de radio en el núcleo a escalas de pársec (Jet, figura 1.1).
6. La joroba de reflexión en rayos X se origina por efecto Compton inverso (curva morada, figura 1.2). Los fotones dentro un material ópticamente grueso, como el disco de acreción, tienen una probabilidad de dispersarse en un electrón y, por lo tanto, rebotar. A energías más altas, la reflexión ya no es elástica. Los fotones se reflejan, pero no emergen con la misma energía con la que inciden. Esto da lugar a la joroba donde los fotones de menor energía se absorben fotoeléctricamente y los fotones de mayor energía se dispersan (predominantemente)(Done, 2010).

Un ejemplo de como se observa la distribución espectral de energía (SED por sus siglas en inglés) de un AGN y su descomposición en las diferentes fuentes que lo conforman se puede apreciar en la figura 1.2.

Se estima que el 10% de las galaxias tienen un núcleo activo, y de ese porcentaje solo el 1% son objetos radio emisores (e.g., Kauffmann et al., 2003; Ho et al., 1997; Ho et al., 2008). Es posible que algún subtipo de AGN no posea alguna de las características observables, sin embargo, siempre se satisfacen los puntos 1 y 3. De lo anterior, la clasificación en subtipos de los AGN busca caracterizar las condiciones físicas de estos objetos (Lawrence, 1987), más que su apariencia observable. Una de las más utilizadas divide a los AGN en dos grandes grupos, con base en su emisión en radio: radio fuertes y radio callados (Urry y Padovani, 1995), actualmente denominados jetted y no jetted (Padovani et al., 2017). De manera alternativa, se suele separar a los AGN dependiendo del ancho de sus líneas de emisión. Así, un AGN cuyo espectro muestra líneas anchas y delgadas se clasifica como AGN tipo 1, mientras que uno que solamente muestra líneas delgadas es un AGN de tipo 2 (e.g., Khachikian y Weedman, 1974; Lawrence, 1987). Las anchuras de las líneas delgadas corresponden a velocidades menores a $1,000 \text{ km s}^{-1}$, mientras que las líneas anchas corresponden a velocidades que pueden llegar hasta los $10,000 \text{ km s}^{-1}$ (Antonucci, 1993) (ver figura 1.3).

Así mismo, hay una gran variedad de AGNs tipo 1 que se diferencian por la presencia de componentes anchas en todas las líneas de recombinación del hidrógeno, por el perfil de estas líneas y

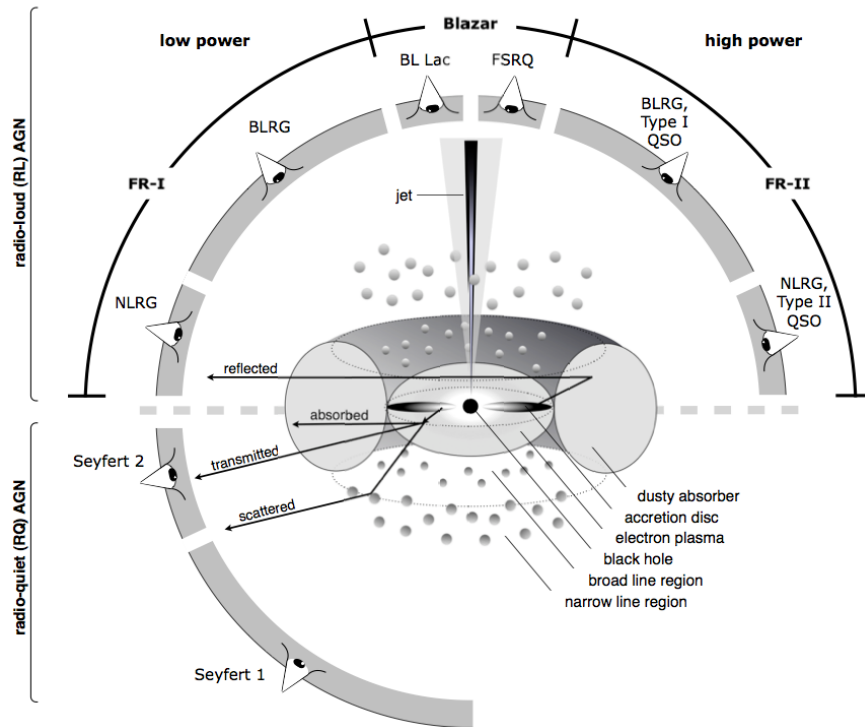


Figura 1.1: La imagen muestra las diferentes componentes de un AGN y como nuestro ángulo de visión determina el tipo de AGN que estamos viendo de acuerdo al modelo unificado de Antonucci, 1993. Crédito de la imagen: Beckmann y Shrader, 2012.

por el número de dichas componentes presentes alrededor de una línea en particular. Éstas pueden ser subclasificadas como Seyfert 1 si presentan tanto componente ancha tanto en $H\beta$ como en $H\alpha$, Seyfert intermedias si solo se observa la componente ancha de $H\alpha$ o la componente ancha de $H\beta$ es poco intensa (Osterbrock, 1989), Seyfert tipo 1 de líneas delgadas (Narrow Line Seyfert Type 1 - NLSy1) cuando el perfil de la línea ensanchada es similar al de una línea angosta y de doble pico (Double peak) si presentan más de una componente ancha alrededor de las líneas de recombinación del hidrógeno. Uno de los esquemas que ha resultado muy eficiente en la organización de la diversidad de los AGNs es el llamado Eigenvector 1 (E1; p.ej. Boroson y Green, 1992; Sulentic et al., 2000; Marziani et al., 2022). El E1 es un espacio de parámetros a distintas longitudes de onda, desde los rayos X, pasando por el UV y hasta el óptico. El plano óptico relaciona la intensidad de Fe II, definida como el cociente entre los anchos equivalentes de $Fe\ II\lambda 4570$ y la componente ancha de $H\beta$, $R_{FeII} = EW(Fe\ II)/EW(H\beta)$, y la anchura total a la altura media (FWHM) de la componente ancha de $H\beta$. En este plano óptico se distinguen dos grandes poblaciones de AGNs: A y B (ver p.ej. las figuras 1 y 2 de Sulentic et al., 2002). Los objetos de población A se caracterizan por mostrar un perfil Lorentziano en sus líneas anchas el cual también se ajusta mejor en las NLSy1, tienen anchos menores a los de la población B ($\leq 4000\ km\ s^{-1}$) y la presencia de líneas de emisión de Fe

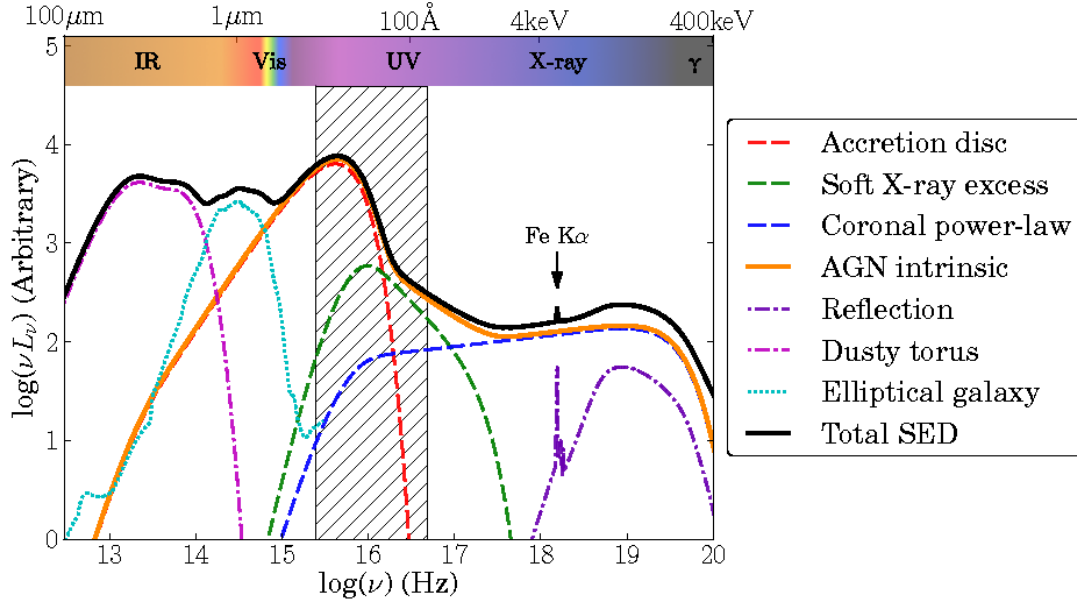


Figura 1.2: Representación esquemática de la distribución de espectral energía (SED) de un AGN no obscurecido (curva negra), separado en sus principales componentes físicos (curvas de colores) y comparadas con el SED de una galaxia pasiva (curva cyan). Crédito de la imagen: Collinson et al., 2017.

II. La gran mayoría de los objetos de población A son radio callados, en cambio, los de población B tienen una fenomenología parecida a la de los objetos radio emisores, las líneas anchas se ajustan bien con perfiles gaussianos (como las Seyfert 1), los anchos de las líneas son mayores que los de población A ($>4000 \text{ km s}^{-1}$) y no muestran emisión de Fe II en sus espectros. Los objetos de doble pico son en su mayoría radio emisores que están siendo vistos a una inclinación relativamente grande en dirección al radio jet (fuentes de radio de amplio espectro), por lo que se cree pertenecen a la población B. La fracción de AGNs con este perfil de doble pico es muy pequeño, incluso más pequeño que la fracción de AGNs radio emisores y solo han sido observados en núcleos activos de muy baja luminosidad. Los intentos más satisfactorios para ajustar perfiles de doble pico están basados en un modelo donde la fuente principal de ionización y calentamiento del gas está afuera del disco de acreción (modelos de disco). Algunos de estos modelos fueron propuestos por Sulentic et al., 1998 basados principalmente en el trabajo de Chen y Halpern, 1989, quienes fueron de los primeros en estudiar estos perfiles.

Antonucci, 1993 propuso otro modelo geométrico para tratar de unificar a todos los AGNs. Explica que las diferencias entre los subtipos se deben a efectos de orientación. Esto quiere decir que, para AGNs Tipo 1, el observador puede ver la emisión directa del disco de acreción alrededor del agujero negro supermasivo mientras que, en AGNs tipo 2, el campo de visión del observador es bloqueado por la presencia de una estructura toroidal de gas y polvo. Como resultado, el único

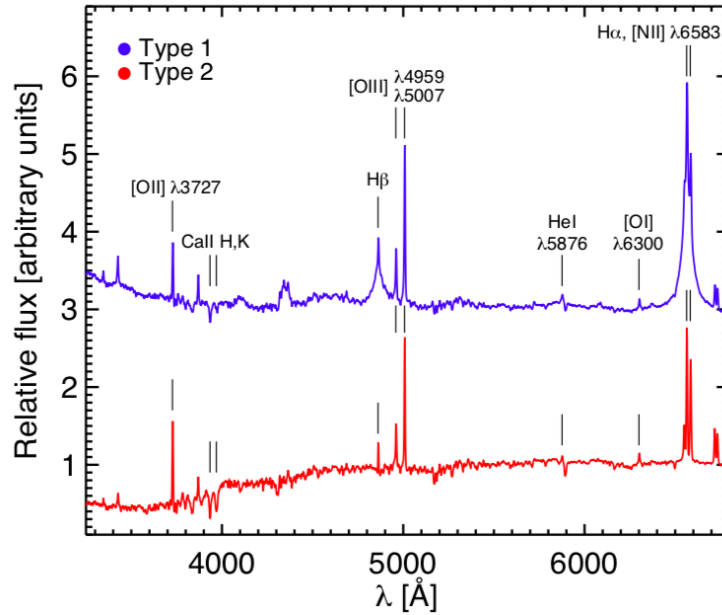


Figura 1.3: Espectro óptico compuesto de AGNs tipo 1 (azul) y tipo 2 (rojo) de SDSS, con las principales líneas de emisión destacadas. Se puede observar en el espectro del AGN tipo 1 la presencia de líneas anchas en las líneas de Balmer $H\alpha$ y $H\beta$. Crédito de la imagen: DiPompeo et al., 2018.

identificador óptico de la actividad de AGNs es la emisión de líneas prohibidas producidas en material extendido fuera de la región de las nubes pero siendo iluminado y fotoionizado por el núcleo obscurecido. En la figura 1.1 se puede ver el modelo unificado simple y los subtipos de AGNs que se observan dependiendo del ángulo de inclinación. Si bien, funciona a primer orden, no es capaz de explicar la existencia de AGNs tipo 2 “puros”, es decir, que no tienen una región de líneas anchas obscurecidas (Laor, 2003).

Con respecto a la variabilidad, ésta ha sido observada en mayor o menor medida en todos los AGNs tipo 1 con una tendencia a tener variaciones más rápidas a altas energías. En los AGNs tipo 2 también se ha observado variaciones pero en rayos-X duros. La variabilidad encontrada en diferentes frecuencias nos da pistas importantes sobre la física de la fuente de radiación central (Netzer, 2013). Por ejemplo, se propone que las variaciones en rayos-X se deben a inestabilidades en la corona del disco y las variaciones encontradas en el óptico estarían relacionadas a inestabilidades en las partes más extendidas, frías y ópticamente gruesas del mismo disco. Ésto llevaría a pensar que las variaciones en ambas regiones estarían correlacionadas, lo cual es cierto pero no en todos los objetos. De hecho, no es muy clara la correlación de la amplitud y la escala de tiempo de la variabilidad entre las frecuencias donde se observa. El estudio de diferentes curvas de luz multibanda parecen mostrar indicios de que el impulsor de la amplitud de la variabilidad es la masa del agujero negro supermasivo. Se ha observado que los AGN con SMBH de baja masa muestran mayores variaciones de amplitud en todas las longitudes de onda en comparación con los objetos

que contienen SMBH más masivos. También se ha visto una muy débil dependencia entre la pendiente del continuo óptico y la amplitud y la escala de tiempo de la variabilidad pues la mayoría de los AGNs conservan el mismo color durante las etapas de baja y alta actividad. En cuanto a la variabilidad observada en el radio y los rayos gamma, ésta se puede deber a los procesos relacionados con los jets relativistas. En el caso de la variabilidad observada en el cercano infrarrojo (NIR, principalmente banda K) se interpreta como el resultado del calentamiento del polvo nuclear por la principal fuente de radiación variable. También se han observado variaciones en las líneas de emisión anchas en todos los AGNs tipo 1 que han sido monitoreadas durante períodos de tiempo largos. Se cree que estos son el resultado directo de las variaciones del continuo UV. De hecho, las variaciones en éstas líneas y el continuo están fuertemente correlacionadas. El patrón general es que, el aumento (o disminución) en la luminosidad de casi todas las líneas de emisión anchas es seguido por un aumento (o disminución) de la luminosidad en el continuo. Esta es la evidencia más fuerte y clara de que la fuente de ionización y calentamiento del gas de la BLR es el continuo ionizante central. El lapso de tiempo entre la variación del continuo y la variación de la línea proporciona una estimación simple del tamaño de la BLR. El método llamado *mapeo de reverberación* (RM, Blandford y McKee, 1982) mide los tiempos de retraso que hay entre la variación de una línea ancha y la variación del continuo para obtener información sobre la distribución del gas, la distribución de ionización y la cinemática del gas.

1.2. Importancia del estudio de los AGNs

Es ampliamente aceptado que la mayoría de las galaxias albergan un agujero negro supermasivo en la región nuclear. En el contexto cosmológico, un tipo específico de AGN, los cuásares con altas tasas de acreción (extreme Population A quasar [xA]), pueden ser utilizados como candelas estándar cubriendo épocas cósmicas que van desde el presente hasta ~ 1 Giga año después del Big Bang debido a sus propiedades y que son fáciles de distinguir de otros AGNs tipo 1 (Dultzin et al., 2020; Czerny et al., 2021). En el contexto evolutivo de una galaxia, la conexión de la actividad nuclear con la galaxia anfitriona juega un papel importante. Las relaciones de escala entre la masa del SMBH y las propiedades estructurales de sus galaxias anfitrionas podría ser un indicador de que ambos procesos están físicamente vinculados y estarían coevolucionando. Por ejemplo, la evolución de la función de masa de galaxias con la función de luminosidad del cuásar (Caplar et al., 2015) o la relación lineal entre la masa del bulbo y la masa del SMBH (Ferrarese y Merritt, 2000; Kormendy y Ho, 2013). De igual forma, ha sido sugerido que los outflows causados por la actividad nuclear son responsables del enriquecimiento de metales en el medio intergaláctico, así como el apagado de la formación estelar de toda la galaxia (retroalimentación negativa, Kauffmann y Haehnelt, 2000; Morganti, 2017).

1.3. Identificación de AGNs

La identificación de AGNs en general utiliza líneas de emisión que emergen del gas que es fotoionizado por el continuo nuclear ionizante. Con los diagramas de diagnóstico BPT (Baldwin et al., 1981) y el diagrama WHAN (Cid Fernandes et al., 2010) se puede identificar la fuente que origina la emisión con cocientes de líneas, ubicándola en una región específica dentro de cada diagrama. Las poderosas fuentes de emisión pueden ser regiones de formación estelar, shocks, emisión de estrellas post-AGB y un núcleo activo y, aunque suelen funcionar bien en la mayoría de los casos, en ocasiones la fuente de emisión puede llegar a ser una mezcla de las mencionadas anteriormente, haciendo complicada la correcta clasificación. Otro punto negativo es que, al ser métodos que utilizan cocientes de líneas de emisión, es necesario hacer el ajuste correcto de las líneas delgadas ($[\text{NII}]$, $[\text{SII}]$, $[\text{OIII}]$, $\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$) lo cual implica hacer la sustracción estelar para tener una mejor visualización. Este proceso puede llegar a ser degenerado ya que no se tiene la certeza de que la solución de continuo de AGN + espectro estelar sea la única. Tampoco consideran la presencia de las componentes anchas de las líneas de Balmer que también deberían ser ajustadas y sustraídas para considerar únicamente el flujo de las componentes delgadas. Es por estas razones que estos métodos funcionan bien para identificar a los AGNs tipo 2 pero no a los AGNs tipo 1. Por otro lado, las líneas anchas tampoco son fáciles de identificar ya que pueden presentar perfiles muy complejos. Su forma y ancho dependen, entre otros parámetros, de la geometría de la BLR, de los efectos de oscurecimiento, de la superposición de diferentes regiones y de la anisotropía de las nubes. Además, el campo de velocidades observado podría ser una superposición de diferentes componentes, como movimientos Doppler, turbulencia, choques, flujos de entrada/salida y rotación, de modo que el perfil final sea una convolución de todos los mencionados (Sulentic et al., 2000; Zamfir et al., 2010; Marziani et al., 2018). Algunos de los intentos más recientes para identificar AGNs tipo 1 utilizando espectros del Sloan Digital Sky Server Data Release 7 (SDSS DR7, Abazajian et al., 2009) son los siguientes. Stern y Laor, 2012 implementaron un método de cociente de flujo alrededor de la región $\text{H}\alpha$, interpretando el exceso de flujo sobre un continuo interpolado a la presencia de una línea ancha. Oh et al., 2015 propusieron la estimación de un cociente de flujo considerando una banda espectral y un continuo adyacente, refinando aún más sus criterios para recuperar AGNs tipo 1 de baja luminosidad. Tanto Stern y Laor, 2012 como Oh et al., 2015, realizaron una sustracción de componente estelar a los espectros como parte de sus metodologías. Con la llegada de los estudios que utilizan la técnica de espectroscopia de campo integral (IFS), son posibles métodos más detallados para identificar y analizar núcleos activos (en particular, AGN de tipo 1) y su relación con las galaxias anfitrionas. Entre los intentos de identificar AGN se encuentran Rembold et al., 2017 y Sánchez et al., 2018, los cuales, utilizaron diagramas BPT y WHAN en el MPL-5, que contiene 2792 galaxias. Mientras que Rembold et al., 2017 consideran solo candidatos por encima de la línea de Kewley (Kewley et al., 2001) en el diagrama BPT de $[\text{NII}]$ y con $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 3$, Sánchez

et al., 2018 consideran todos los candidatos por encima de las líneas de Kewley en los tres diagramas BPT ([NII], [OI] y [SII]) pero con un umbral más relajado en $EW(H\alpha) (>1.5)$. Identificaron 62 y 98 AGN, respectivamente, independientemente de si eran AGN tipo 1 o 2. Por el contrario, Wylezalek et al., 2018; Wylezalek et al., 2020 aprovecharon los datos de IFS al construir diagramas BPT espacialmente resueltos, identificando 308 candidatos a AGN en la misma muestra. Más recientemente, Comerford et al., 2020 realizó un cruce de datos del MPL-8 (6261 galaxias) con otros catálogos de AGNs pero en diferentes longitudes de onda, encontrando 406 AGN, la mayoría de ellos identificados como fuentes de radio. En el capítulo 3, presentamos un método para identificar AGN tipo 1 utilizando espectros de una sola dimensión (Cortes-Suárez et al., 2022). Este es un método "no invasivo" que evita la sustracción de la componente estelar de la galaxia de los espectros ópticos y considera solo la prominencia de la componente ancha de la línea de emisión $H\alpha$ para un cociente señal a ruido (S/N) determinado. El método se aplicó en la muestra de datos MaNGA DR15 (MPL-7) así como en los datos del SDSS DR7, mostrando resultados comparables a los métodos mencionados anteriormente.

1.4. Propiedades físicas de los AGNs

Como se ha mencionado, los AGNs emiten luz en todo el espectro electromagnético. Cada región ha sido estudiada a detalle para tratar de comprender los diversos fenómenos físicos que originan su emisión. Dado que los cubos de datos de MaNGA fueron observados en el intervalo de $3,600\text{\AA}-10,300\text{\AA}$, vamos a enfocarnos en las propiedades observadas en el intervalo del óptico.

Una característica propia de los AGNs es la presencia de líneas de emisión ensanchadas debido a efecto Doppler por la rotación de regiones de gas cercanas al agujero negro supermasivo a altas velocidades (ver figura 1.4). Se han definido dos regiones que se diferencian por el ancho de velocidad de las líneas de emisión: la región de líneas anchas y la región de líneas delgadas. Este cambio de velocidad se da por la cercanía al agujero negro supermasivo, siendo la BLR la región más próxima a éste. Debido a lo anterior, se han logrado deducir varias propiedades del agujero negro supermasivo asumiendo que se trata de un sistema virializado. De este modo, la masa del agujero negro se obtiene a partir de conocer el tamaño de la región donde se emiten las líneas anchas, R_{BLR} , y la dispersión de velocidades que hay en esta región $M_{BH} = v^2 R_{BLR}$ (Ho, 1999; Wandel et al., 1999; Kaspi et al., 2000). Algunas de estas variables se pueden medir directamente, como R_{BLR} a partir de la técnica de mapeo de reverberación (Peterson, 1993), pero cuando no es posible hacerlo, se utilizan correlaciones empíricas. Kaspi et al., 2000 encontraron una relación entre el tamaño de la región de líneas anchas y la luminosidad del continuo en el óptico (L_{5100}) pues asume que, a esta longitud de onda, la luminosidad está siendo generada principalmente por el agujero negro. Sin embargo, puede haber una importante contaminación estelar que debe ser aislada. En el caso de la dispersión de velocidades, ésta puede ser derivada del ensanchamiento Doppler de las líneas

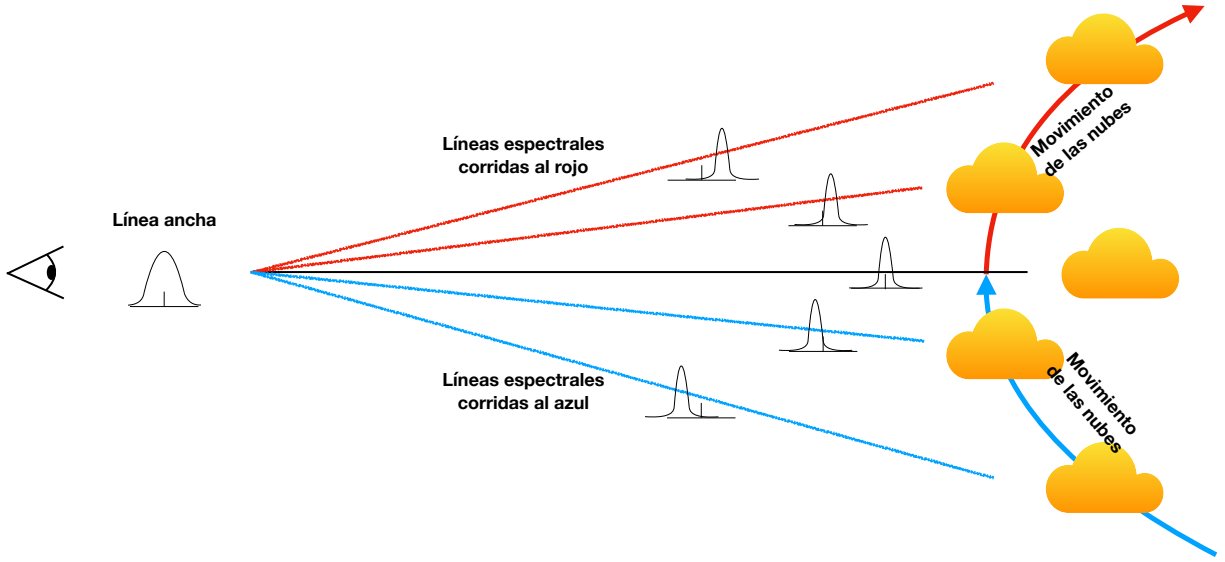


Figura 1.4: Ensanchamiento de las líneas de emisión por el movimiento rotacional de las nubes de gas cercanas al agujero negro supermasivo.

anchas. Dado que en la BLR las densidades son muy altas, las líneas anchas solo pueden emerger de las líneas permitidas, como las líneas de recombinación del hidrógeno en el óptico. Se suele utilizar el ancho total a media altura (Full Width at Half Maximum - FWHM) de la línea de $H\beta$ ya que, a diferencia de la línea de $H\alpha$, ésta suele estar aislada. Sin embargo, cuando esta línea no es visible se puede utilizar la línea ancha de $H\alpha$. De hecho, para AGNs de baja luminosidad, esta línea es siempre visible a diferencia de la línea de $H\beta$ (Netzer, 2013). Vestergaard y Peterson, 2006 propone una relación para derivar las masas de los agujeros negros a partir de la línea ancha de $H\beta$, la cual es:

$$\log(M_{\text{BH}}/M_{\odot}) = (6,91 \pm 0,02) + \log \left[\left(\frac{\text{FWHM}_{H\beta}}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right)^2 \left(\frac{\lambda L_{5100}}{10^{44} \text{ erg s}^{-1}} \right)^{0,55} \right] \quad (1.1)$$

Mientras que Greene y Ho, 2005 proponen una relación pero utilizando la línea ancha de $H\alpha$:

$$M_{\text{BH}} = (2,00^{+0,40}_{-0,30}) \times 10^6 \left(\frac{\text{FWHM}_{H\alpha}}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right)^{2,06 \pm 0,06} \left(\frac{L_{H\alpha}}{10^{42} \text{ erg s}^{-1}} \right)^{0,55 \pm 0,02} M_{\odot} \quad (1.2)$$

Ambas relaciones (VP06 para Vestergaard y Peterson, 2006 y GH05 para Greene y Ho, 2005 de ahora en adelante) pueden ser utilizadas para hacer una estimación indirecta de la masa del SMBH. Sin embargo los resultados pueden variar ya que se pueden encontrar diferencias significativas

entre los FWHM de $H\alpha$ y $H\beta$, lo cual sugiere que las líneas se forman, al menos en parte, a partir de regiones cinemáticas y posiblemente espacialmente distintas (Greene y Ho, 2005). L_{5100} es la luminosidad en $\lambda = 5100 \text{ \AA}$; $\text{FWHM}_{H\beta}$ y $\text{FWHM}_{H\alpha}$ son las anchuras del flujo de la línea a la altura media de $H\beta$ y $H\alpha$ respectivamente. Estas cantidades pueden derivarse del espectro del AGN. Para el cálculo de luminosidad se utiliza la siguiente relación:

$$\lambda L_\lambda = 4\pi D_L^2 \lambda F_\lambda \quad (1.3)$$

Donde D_L es la distancia lumínica de la galaxia y F_λ es el valor del flujo monocromático. De acuerdo a la ecuación 1.1, $\lambda = 5100 \text{ \AA}$. La distancia lumínica se puede derivar a partir de la Ley de Hubble, con solo conocer el corrimiento al rojo estelar de la galaxia y de establecer algunas consideraciones cosmológicas como el parámetro de densidad y la constante de Hubble actuales (en este trabajo se consideró $H_0 = 70 \text{ Mpc km s}^{-1}$). Para estimar esta cantidad, se utilizó la expresión de Sulentic et al., 2006 considerando $\Omega_M \neq 0$, $\Omega_\Lambda \neq 0$ y $\Omega_K = 0$ para un intervalo de $0 \leq z \leq 2.5$:

$$D_C = \frac{c}{H_0} \left[1,5(1 - e^{-\frac{z}{6,107}}) + 0,996(1 - e^{-\frac{z}{1,266}}) \right] \quad (1.4)$$

Donde la distancia comóvil, D_C , se utiliza para calcular la distancia lumínica con la siguiente relación: $D_L = D_C(1+z)$. En cuanto al FWHM, éste puede ser estimado directamente de la dispersión de velocidades, σ , que genera el ensanchamiento de la línea ancha, $\text{FWHM} \approx 2,335c\sigma\lambda^{-1}$. Se debe tener en cuenta que esta cantidad corresponde al valor observado. El valor instrumental también debe ser considerado y es propio del espectrógrafo utilizado. En el caso del utilizado por MaNGA, éste tiene un valor de $\text{FWHM}_{\text{ins}} = 141.3 \text{ km s}^{-1}$ o bien $\sigma_{\text{ins}} = 60 \text{ km s}^{-1}$ (Yan et al., 2016). Por lo tanto, el valor real de esta anchura es:

$$\text{FWHM}_{\text{real}} = \sqrt{\text{FWHM}_{\text{obs}}^2 - \text{FWHM}_{\text{ins}}^2} \quad (1.5)$$

Otra cantidad que se puede derivar de las propiedades observables de un AGN es su cociente de Eddington, R_{Edd} , el cual es un parámetro que está fuertemente relacionado con la acreción de material en el agujero negro, así como con el $\text{FWHM}(H\beta)$ y el Eigenvector 1 (Boroson y Green, 1992; Sulentic et al., 2000; Sulentic et al., 2006. Para $R_{\text{Edd}} \ll 1$, se dice que la acreción no es tan eficiente. Objetos como LINERS tienen valores ($\sim 10^{-5}$) que podrían considerarse de baja acreción. Los AGNs con una geometría favorable en la acreción (agujeros negros de Kerr con el momento angular y el espín alineados), pueden alcanzar hasta una eficiencia de 42% (Thorne, 1974).

El parámetro R_{Edd} se obtiene del cociente entre la luminosidad bolométrica del objeto (L_{Bol}) y su luminosidad de Eddington (L_{Edd}):

$$R_{\text{Edd}} = \frac{L_{\text{Bol}}}{L_{\text{Edd}}} \quad (1.6)$$

La luminosidad bolométrica es una medida de la luminosidad integrada a lo largo de todo el espectro electromagnético y obtenerla, no es una tarea fácil debido a que la región más allá del continuo UV, donde la mayor parte de la energía es emitida, es inaccesible a las observaciones directas. Esto se debe a la absorción que, para objetos a bajo corrimiento al rojo es causada por las galaxias anfitrionas, mientras que para objetos a un alto corrimiento al rojo es el gas neutro intergaláctico el que produce dicha absorción. Por ello, se utilizan correcciones bolométricas para convertir la luminosidad monocromática o de una sola banda en un aproximado de la luminosidad bolométrica. En el óptico se puede escalar a partir de la luminosidad de L[OIII] multiplicándolo por un coeficiente de corrección, C , el cual varía dependiendo de la luminosidad del objeto (Lamastra et al., 2009).

En el caso de la luminosidad de Eddington, ésta se define como la luminosidad máxima permitida que puede tener un núcleo activo cuya energía se ha obtenido de un estado de acreción estacionario en una escala de tiempo prolongado. El gas de partículas, localizado a una distancia r del agujero negro con masa M_{BH} , esta siendo sometido a dos fuerzas. La primera es la que ejerce la presión de radiación que actúa sobre una partícula de gas que evita que caiga hacia la fuente puntual, f_r , y la segunda es la fuerza gravitacional, f_g , que ejerce el agujero negro por partícula. Una acreción esférica del gas completamente ionizado hacia la fuente central se dará siempre que $f_g > f_r$. Entonces, el requerimiento mínimo para que se dé la acreción, $f_g = f_r$, nos permite definir a la Luminosidad de Eddington como:

$$L_{Edd} = \frac{4\pi c G M_{BH} \mu m_p}{\sigma_T} \quad (1.7)$$

que se puede simplificar para dejarlo en función únicamente de la masa del SMBH.

$$L_{Edd} \approx 1,5 \times 10^{38} (M_{BH}/M_{\odot}) \text{ergs}^{-1} \quad (1.8)$$

que para un gas puramente de hidrógeno, el factor cambia a 1.28×10^{38} . En algunos casos, la luminosidad puede superar este límite por una corta duración, por ejemplo, inmediatamente después de un estallido.

La definición anteriormente dada para L_{Edd} considera solo una fuente de opacidad, dispersión de Compton, la cual es apropiada para plasma completamente ionizado. Situaciones más reales deberían involucrar gas neutro además de mucha más opacidad. En estas situaciones, L_{Edd} puede ser significativamente menor que el valor definido en la ecuación 1.8.

1.4.1. Parámetros Multifrecuencia de los AGNs

Una de las propiedades que identifican a los AGNs de las demás fuentes emisoras, es la emisión en todas las bandas del espectro electromagnético, tal y como se ilustra en la figura 1.2. Aunque todos los AGNs lo hacen, no todos lo hacen con la misma intensidad y con el mismo perfil, de

hecho esto dependerá del proceso de acreción. Giustini y Proga, 2019 muestra que a bajas tasas de acreción, la dominancia de la emisión puede ser no térmica con la presencia de jets (low-excitation radio galaxy, LERG). A altas tasas de acreción, la emisión térmica comienza a ser dominante (high-excitation radio galaxy, HERG). Algunos perfiles como "la joroba azul" del óptico-UV así como la BLR no son observables en AGNs con luminosidades bolométricas dentro del rango $L_{\text{bol}} \sim 10^{40-42}$ erg s^{-1} . Así mismo, los AGNs de baja luminosidad no muestran la gran variabilidad en escalas de tiempo cortos mostrada en la banda de rayos-X como los AGNs luminosos ($L_{\text{bol}} \sim 10^{46-48}$ erg s^{-1} , Ho et al., 2008). Es así que, a partir de estas diferencias, que se pueden encontrar AGNs dentro de una muestra de galaxias a partir de sus colores en el infrarrojo (Stern et al., 2012; Assef et al., 2018), identificar el estado de acreción a partir de su emisión en radio (Beckmann y Shriver, 2012; Mingo et al., 2016) e incluso inferir su luminosidad a partir de otras luminosidades en el óptico como $H\alpha$ u [OIII] a partir de relaciones de escala como las que encontramos en Cortes-Suárez et al., 2022.

1.5. Parámetros observables de las galaxias

Hubble, 1926 fue el primero en clasificar las galaxias de acuerdo a su morfología en el intervalo óptico. Propuso un diagrama con forma de diapason, donde la clasificación va desde los objetos con estructura elíptica hasta a aquellos con brazos espirales extensos. Esta clasificación es conocida como esquema o clasificación de Hubble, y de ella se derivan 3 grandes grupos: galaxias elípticas, galaxias espirales y galaxias espirales con barra. Al día de hoy, las galaxias se clasifican en alguno de estos grupos: Elípticas, Lenticulares, Espirales e Irregulares. A partir de éstos, se tienen otras subclasificaciones de acuerdo a otros elementos observables en las galaxias como barras, anillos, interacciones, filamentos, elongaciones, etc (de Vaucouleurs, 1959; Buta et al., 2015). La importancia de este sistema de clasificación, y por el cual aún después de tanto tiempo se sigue utilizando, es que ha demostrado tener correlaciones con propiedades globales de las galaxias como el cociente de luminosidad bulbo/disco, el contenido de gas, la formación estelar, los colores integrados y la masa total (M_*), solo por mencionar algunos (Roberts y Haynes, 1994; Blanton y Moustakas, 2009).

La presencia de agujeros negros supermasivos en los centros de las galaxias ha sido objeto de estudio durante muchos años. Se sabe que se localizan en esa región debido al estudio de los núcleos activos pero también se infiere que el resto de las galaxias también poseen un agujero negro supermasivo aunque éste no esté activo (Lynden-Bell y Rees, 1971). Como se mencionó anteriormente, las relaciones de escala que existen entre la masa estelar total de la galaxia, la masa estelar del bulbo y la dispersión de velocidades con la masa del agujero negro supermasivo, han llevado a pensar que todas las galaxias poseen uno (Ferrarese y Merritt, 2000; Kormendy y Ho, 2013). Otra prueba más reciente de ello es la observación directa de SgrA* en el centro de la Vía Láctea (Event Horizon Telescope Collaboration et al., 2022). No obstante la población de núcleos

activos ha ido variando con el tiempo. En el Universo cercano se estima que el 10% de las galaxias poseen algún tipo de núcleo activo o 25% para el caso de los AGNs de baja ionización como los LINERS (p.ej. Ho et al., 1997; Kauffmann et al., 2003). Estas fracciones pueden ser aún más altas en corrimientos al rojo altos, pero tal censo no está disponible actualmente (Netzer, 2013). El como llegaron a formarse cuando las galaxias apenas tenían $\sim 10^6$ años de edad sigue siendo tema de debate especialmente por las condiciones físicas y de crecimiento que debían tener (Vito et al., 2013). Aunque aún no es muy claro el como se formaron (colapso nuclear de estrellas de población III masivas, el colapso directo de agujeros negros o del colapso monolítico de nubes de gas masivas, Latif y Ferrara, 2016; Volonteri et al., 2021), la acreción debió encontrarse en el límite de Eddington o incluso ser Super Eddington para tener las masas observadas (10^8 - $10^{10} M_{\odot}$ a $z > 6$, e.g. Willott et al., 2009; Mortlock et al., 2011; Valentini et al., 2021). Esto sin duda tuvo un efecto en sus galaxias anfitrionas ya que se cree que los outflows poderosos (o vientos) barren el gas del medio interestelar, lo que afecta la dinámica del gas en la galaxia anfitriona y puede detener la formación estelar, o al menos regular la tasa de formación estelar (Silk y Rees, 1998). De lo anterior, podemos definir una serie de parámetros de las galaxias que pueden estar relacionados con la actividad nuclear: morfología, edad, color, masa estelar, formación estelar.

Aunque la muestra de AGNs que se estudio en este trabajo tiene un corrimiento al rojo menor a 0.15, la actividad nuclear aún puede tener efectos sobre la galaxia anfitriona. Estudios como los de Sánchez et al., 2018 o Kalinova et al., 2021 muestran que en la secuencia principal de formación estelar ($\text{Log}(M_*) - \text{Log}(\text{SFR})$), gran parte de las galaxias con núcleos activos se encuentran en la denominada región del valle verde, que es una región de transición entre la zona azul, propia de galaxias con formación estelar y la zona roja, donde se encuentran las galaxias con baja o casi nula formación estelar. Su localización en esta región sugiere que el AGN puede encender o apagar la formación estelar de su galaxia anfitriona aunque eso aún es tema de debate.

En el caso particular de los núcleos activos a bajos corrimientos al rojo, se ha visto que estos tienden a encontrarse en galaxias de disco de tipo temprano (Ho et al., 1997; Kauffmann et al., 2003; Bruce et al., 2016; Sánchez et al., 2018; Kim et al., 2017; Kim et al., 2021), aunque se ha visto que los AGNs radio fuertes se suelen encontrar en galaxias elípticas (e.g. Matthews et al., 1964).

1.6. Encendido del núcleo activo

Otro de los temas de relevancia es el transporte de gas hacia la región nuclear para alimentar el agujero negro. Las interacciones dinámicas y las fusiones, que promueven la entrada de gas, se encuentran entre los principales mecanismos para impulsar el crecimiento de los SMBH en las regiones nucleares de las galaxias (e.g. Di Matteo et al., 2005; Springel et al., 2005). Éstos mecanismos pueden impulsar tanto la acumulación de gas para incrementar la formación estelar (Mihos

y Hernquist, 1994; Mihos y Hernquist, 1996) como el crecimiento del SMBH (Di Matteo et al., 2005; Hopkins et al., 2005; Ellison et al., 2011; Koss et al., 2012; Treister et al., 2012; Satyapal et al., 2014). Otros trabajos sugieren que las fusiones menores son el mecanismo más importante para el crecimiento del agujero negro, al mismo tiempo que inducen perturbaciones morfológicas y estimulan la formación de estrellas (e.g. Noeske et al., 2007; Daddi et al., 2007; Cisternas et al., 2011; Kocevski et al., 2012; Kaviraj, 2014; Villforth et al., 2017). Bajo estos esquemas y dependiendo de las condiciones iniciales, las galaxias que albergan núcleos activos podrían mostrar hasta cierto punto patrones de perturbaciones dinámicas y morfológicas. Las estrechas correlaciones entre la masa del agujero negro y las propiedades de las galaxias sugieren una coevolución entre ellas, siendo las fusiones posiblemente la causa común tanto de la acumulación de gas (con el consiguiente desencadenante del AGN) como de la acumulación de masa del bulbo (Hopkins et al., 2007). La retroalimentación del AGN se invoca en simulaciones cosmológicas para recuperar la función de luminosidad de las galaxias locales observada, la bimodalidad en el color/formación estelar y la densidad numérica de las galaxias masivas (e.g. Somerville et al., 2008).

Sin embargo, otros estudios sugieren que las fusiones no necesariamente juegan un papel dominante en el desencadenamiento de la actividad de AGN (Grogin et al., 2015; Gabor y Davé, 2009; Cisternas et al., 2011; Kocevski et al., 2012; Schawinski et al., 2012; Treister et al., 2012; Simmons et al., 2013; Rosario et al., 2015). Las inestabilidades seculares son otro mecanismo que impulsan la acumulación de gas en el SMBH en las galaxias de disco. Estos procesos seculares pueden ser impulsados por barras o, en discos turbulentos de alto corrimiento al rojo, por la fricción de las mareas que hay en los cúmulos de galaxias, ambos contribuyendo también al crecimiento del bulbo (e.g. Bournaud, 2016 y referencias ahí contenidas).

Los parámetros de las galaxias anfitrionas que hasta el momento están mejor ligados con el agujero negro supermasivo (activo o no) son la dispersión de velocidades del bulbo y la masa estelar de la galaxia anfitriona. Estas relaciones nos indican que que a mayor dispersión de velocidades o masa estelar, se tienen agujeros negros con mayores masas y viceversa mostrando su coevolución (Ferrarese y Merritt, 2000; Kormendy y Ho, 2013; Reines y Volonteri, 2015).

1.7. Hipótesis

Tanto los núcleos activos como sus galaxias anfitrionas han sido ampliamente estudiados y con los avances tecnológicos, ambos objetos se han podido estudiar con gran detalle. Grupos como el del WISDOM Team Wave Interferometric Survey of Dark Object Masses (Onishi et al., 2017) tienen el poder de estudiar con detalle la cinemática de la región más cercana al SMBH. En el trabajo de North et al., 2019 se infiere de manera directa la masa del SMBH de NGC 0383 con el uso de mapas de velocidad de gas molecular CO(2-1) con una resolución espacial de $58 \times 32 \text{ pc}^2$.

Sin embargo, aún no se tienen estudios simultáneos tanto de la región nuclear como de la

galaxia anfitriona. Los catastros que observan con la técnica de espectroscopia de campo integral (IFS) obtienen información espectral de todos los pixeles contenidos dentro del campo de visión observado.

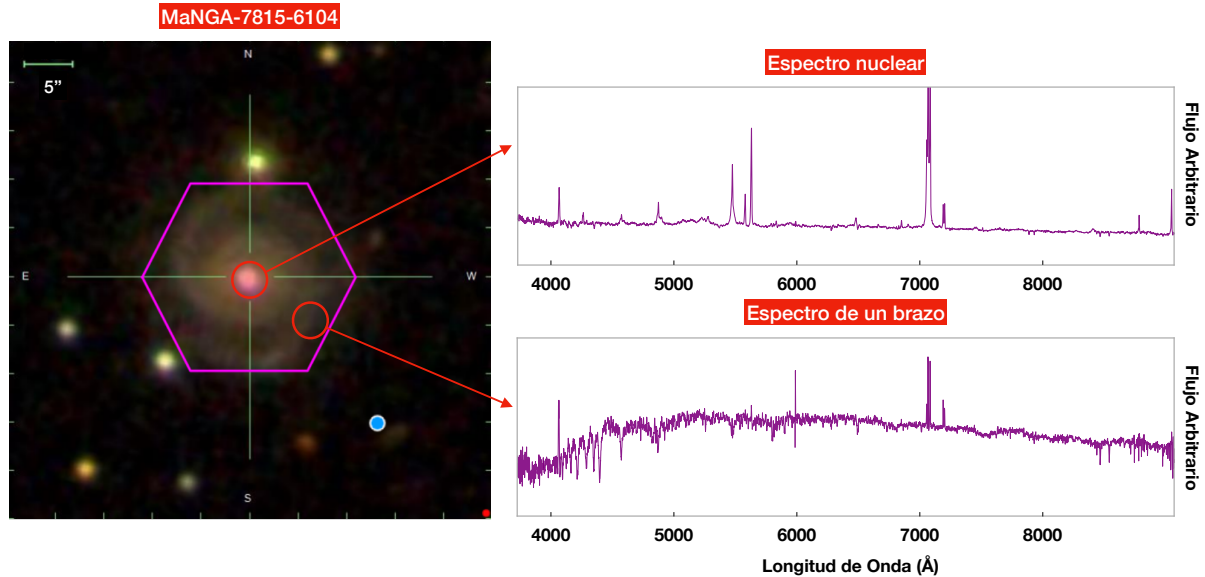


Figura 1.5: Galaxia MaNGA-7815-6104 observada con la técnica de espectroscopia de campo integral. El hexágono en púrpura ilustra el campo de vision (FoV) de las observaciones y la barra en la parte superior izquierda ilustra la escala de la imagen en segundos de arco (imagen tomada de SDSS). El recuadro superior derecho muestra un espectro integrado de la region central. El recuadro inferior derecho corresponde al espectro integrado de una region en el disco (más detalles en el capítulo 2).

La figura 1.5 muestra a la galaxia 7815-6104 observada con esta técnica por el catastro MaNGA (Bundy et al., 2015). El campo de visión que fue observado esta pintado como un hexágono morado. Dentro de éste, cada pixel contiene información espectroscópica que cubre ampliamente la región del óptico, desde los 3,600 Å hasta los 10,300 Å aproximadamente (en el caso de MaNGA). A cada uno de estos pixeles con espectro se les conoce como spaxels y se pueden estudiar individualmente o en conjunto. En la misma figura se pintaron dos círculos rojos en diferentes regiones de la galaxia. Integrando los spaxels de dichas regiones se obtienen sus espectros representativos que, al observarlos, son diferentes entre sí. El espectro superior derecho comprende el de la región central, dónde se muestra el espectro del AGN de la galaxia y, en el caso del espectro inferior derecho, se trata de una región que cubre parte de un brazo espiral, mostrando un espectro característico de un conjunto de poblaciones estelares.

A partir de lo anterior, se plantea como hipótesis que la presencia de un núcleo activo crea procesos de retroalimentación que impactan en diferentes parámetros observables de su galaxia

anfitriona tales como su morfología, cinemática, formación estelar, entre otros. Con el uso de datos IFS en una muestra de AGNs tipo 1 se podrá estudiar simultáneamente ambas regiones, la región nuclear así como la galaxia que lo hospeda. Así mismo, teniendo observaciones de alta resolución como las de MaNGA, se plantea la posibilidad de detectar AGNs tipo 1 identificando la componente ancha de $H\alpha$ directamente del espectro observado, sin la necesidad de realizar una sustracción estelar o la de utilizar los diagramas BPT y WHAN. Estos diagramas utilizan cocientes de las líneas de emisión delgadas y no consideran la presencia de componentes anchas. Después se estudiarán y estimarán las propiedades físicas de los núcleos activos. Al estar en galaxias de bajo corrimiento al rojo ($z < 0.15$), se espera que la muestra sea de AGNs de baja luminosidad. Luego se continuará con el estudio de la galaxia anfitriona, estudiar los parámetros morfológicos y los mecanismos que inducen la actividad nuclear, si son externos a la galaxia o internos. Finalmente, los parámetros encontrados en ambas regiones se analizarán para explorar relaciones de escala entre ambas regiones.

1.8. Esquema de la Tesis

La tesis se organiza de la siguiente forma. En la sección 2 se describe la metodología que se siguió para este trabajo. En la sección 3 se detallará la obtención de la muestra de AGNs para su estudio. En la sección 4 se describe la sustracción estelar de los espectros observados, así como el análisis de las líneas de emisión y la obtención de las propiedades físicas de los núcleos activos. En la sección 5 se describen algunas propiedades de las galaxias anfitrionas. En la sección 6 se comparan los resultados de la región nuclear y de la galaxia anfitriona, así como nuestras conclusiones. Se incluyen diferentes apéndices que muestran el trabajo realizado en la tesis. En el apéndice B se muestran los espectros resultantes de realizar una sustracción con Starlight (Cid Fernandes et al., 2005). En el apéndice C se muestran los espectros de líneas de emisión obtenidos con QDeblend3D (Husemann et al., 2013; Husemann et al., 2014) comparados con los espectros de líneas de emisión de Starlight. Finalmente, en el apéndice D se muestran los ajustes de líneas de emisión de las regiones de $H\alpha$ y $H\beta$ utilizando tanto los espectros de líneas de emisión de Starlight como los de QDeblend3D.

2 Metodología

Para lograr el objetivo planteado en la hipótesis, utilizamos los datos de MaNGA para lograrlo. En este capítulo se describió lo que es MaNGA, propiedades de sus datos y que productos podemos obtener de ellos. Después se explica la metodología que se utilizó para lograr el objetivo, empezando por la selección de la muestra seguida por los estudios que se plantearon para la región de líneas anchas y para la galaxia anfitriona y el como se atacaron.

2.1. El catastro MaNGA

MaNGA (Mapping Nearby Galaxies at APO, Bundy et al., 2015) es un catastro IFU que forma parte de la fase IV del Sloan Digital Sky Server (SDSS). El objetivo de este catastro es comprender las diferentes etapas en la vida de las galaxias que observamos, a partir de indicios que se van imprimiendo desde su nacimiento y ensamblaje, pasando por su crecimiento continuo vía formación estelar y fusión galáctica, y, en algunas galaxias, hasta su muerte que se define como una tasa casi nula de formación de estrellas (quenching), en su historia más reciente. Para ello, observaron a lo largo de 5 años las galaxias más cercanas ($z < 0.15$) liberando año con año parte de sus observaciones en grupos llamados MaNGA Product Launch (MPL), logrando su objetivo de observar $\sim 10,000$ galaxias en el MPL-11 y haciéndolas públicas en el Data Release 17 de SDSS (Abdurro'uf et al., 2022). MaNGA emplea observaciones interpoladas usando 17 conjuntos hexagonales de fibras ópticas de 2 arcsec para obtener espectros resueltos a lo largo de un amplio intervalo de longitud de onda que va de los 3,600 a los 10,300 Å. Los arreglos de las fibras ópticas, es decir, los IFUs, están desplegadas en un campo de 3 grados para la obtención de espectros con una resolución de $R \approx 2000$. Se dice que son observaciones interpoladas porque el factor de llenado total del conjunto de fibras es del 56% y para maximizarlo, se emplea el método de “dithering” que consiste en mover el arreglo a tres posiciones de “interpolación”, que están ligeramente desplazadas entre sí, para que se pueda proporcionar suficiente muestreo. El número de fibras de los IFUs va de los 19 a 127, con diámetros de 12 a 32 arcsec.

Otras especificaciones técnicas son: Imágenes obtenidas con 3 horas de exposición usando el método de dithering; intervalo de muestreo espacial de 1 a 2 kilopársecs; señal a ruido (Signal-to-Noise S/N) de 4-8 por fibra hasta 1.5 radios efectivos¹. Los cubos de datos de MaNGA cumplen con los siguientes requisitos:

¹Radio al cual se encuentra el 50% de la luz total de una galaxia

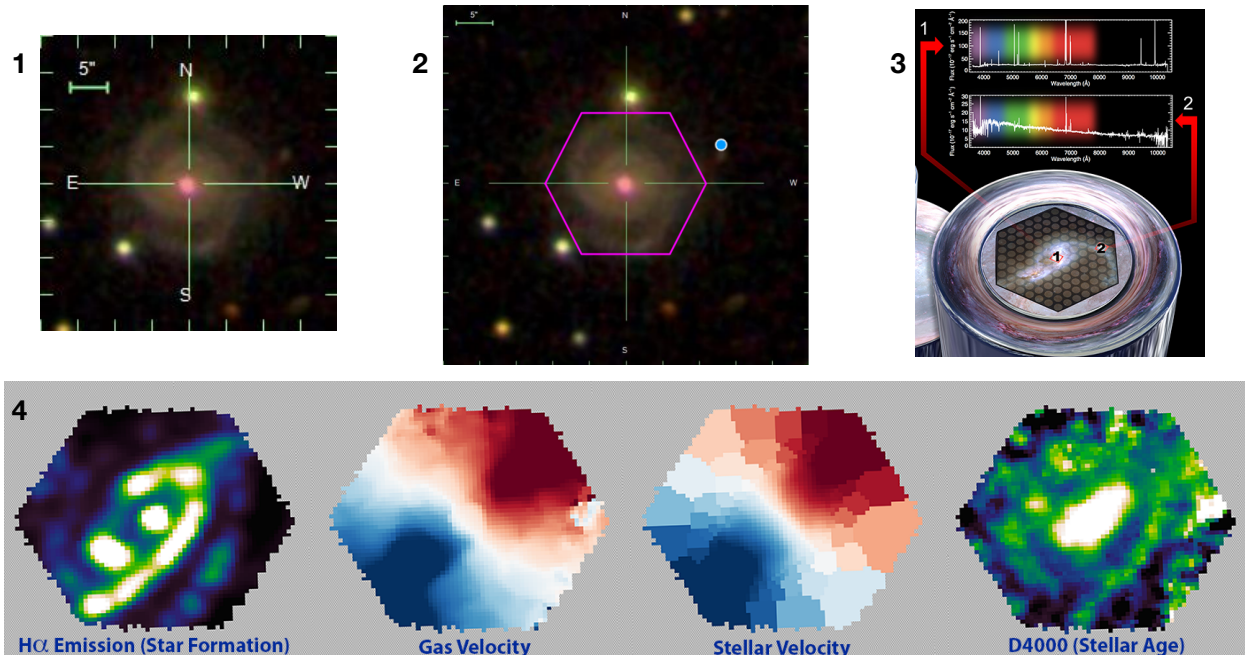


Figura 2.1: 1. La galaxia MaNGA-7815-6104. 2. El campo de vision (FoV) de las observaciones. 3. Ilustracion esquemática de la técnica de Espectroscopia de Campo Integral (crédito de la imagen Dana Berry / SkyWorks Digital Inc., David Law, y la colaboración de SDSS). 4. Algunos mapas 2D que se pueden obtener de analizar los cubos de MaNGA, de izquierda a derecha: Mapa de la línea en emision $H\alpha$, campo de velocidades del gas tibio, mapa de velocidades estelar y mapa del parametro $Dn(4000)$ (imágenes tomadas de <https://www.sdss4.org/surveys/manga>).

- Distribución de masa estelar plana con $M > 10^9 M_{\odot}$.
- El diámetro más pequeño de las galaxias es muestreado en al menos 5 bins espaciales.
- Muestra primaria: Cobertura espacial hasta 1.5 Radios efectivos.
- Muestra secundaria: Cobertura espacial hasta 2.5 Radios efectivos.
- Sin sesgo por tamaño ni por inclinación.

Los datos obtenidos se almacenan en cubos de datos, archivos con dos dimensiones espaciales (el FoV) y una tercera dimensión espectral (3,600-10,300 Å). La ventaja de trabajar con los cubos de datos es que se puede estudiar un spaxel individualmente o un conjunto de ellos a lo largo de todo el espectro observado. En la figura 2.1 se pueden observar 4 mosaicos que muestran de manera general lo que hace el catastro. En el primer recuadro se observa una galaxia candidata a ser observada. En el segundo recuadro se visualiza el campo de visión del telescopio que se puede cubrir en dicha galaxia. Salvo en muy contados casos, el centro del campo de visión coincide con el centro galáctico. En el tercer recuadro se puede observar el arreglo de fibras utilizado para observar a la galaxia. Arriba de este arreglo se observan los diferentes espectros que se pueden obtener en

cada fibra. Con los diferentes espectros se pueden obtener parámetros espacialmente resueltos de gran calidad en todo el campo de visión observado. El cuarto recuadro muestra algunos de ellos como la emisión en $H\alpha$, los campos de velocidades del gas y las estrellas así como el D4000, el cual es un indicador de edad en las poblaciones estelares.

Dadas las propiedades de los cubos de datos de MaNGA, es posible identificar la presencia de un núcleo activo utilizando los espectros integrados de las regiones centrales reduciendo al mismo tiempo la contaminación estelar que pudiera haber por parte del resto de la galaxia anfitriona. Para ello: 1) se obtendrá el espectro de la región central de cada galaxia observada por MaNGA y 2) se realizará una búsqueda sistemática de AGNs tipo 1. Ésto debido a que a partir de las componentes anchas de $H\alpha$ y/o $H\beta$ se pueden inferir los parámetros físicos del AGN.

Una vez seleccionada la muestra, se procederá con los estudios individuales tanto de la región interna de la galaxia como de la galaxia anfitriona y éstos, se describen a continuación.

2.2. Estudio de la región de líneas anchas

Los diversos parámetros que podemos estimar de un AGN se obtienen a partir de las componentes extendidas de las líneas de Balmer en emisión dentro del espectro óptico. La anchura de la línea esta relacionada con la cinemática de la BLR. Para obtener esta información, se llevarán a cabo los siguientes pasos: 1) El estudio comenzará con la obtención del espectro de líneas de emisión de la región en donde se encuentra el núcleo activo. Debido a que son galaxias a bajo corrimiento al rojo, se espera una contribución importante de la emisión de la galaxia anfitriona en la emisión nuclear. Utilizando dos programas, STARLIGHT (Cid Fernandes et al., 2005) y QDeblend3D (Husemann et al., 2013; Husemann et al., 2014), se sustraerá la componente estelar del espectro observado para obtener el espectro de líneas en emisión. 2) Utilizando la rutina “specfit” (Kriss, 1994) de IRAF (Tody, 1986), se ajustarán las líneas de emisión tanto delgadas como anchas. Las propiedades de estas líneas nos permitirán obtener la masa del agujero negro, la tasa de acreción y la luminosidad de Eddington. 3) Así mismo, se iniciará un programa de seguimiento espectroscópico sobre una submuestra de AGNs tipo 1 seleccionados por tener indicios de variabilidad en la intensidad y forma de las líneas anchas de Balmer. Las observaciones se realizarán en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir con el telescopio de 2.12m utilizando un espectrógrafo Boller & Chivens. 4) En la muestra de los primeros 12 AGNs, detectamos en el espectro de la región nuclear, perfiles de línea lorentzianos, gaussianos y en algunos objetos, doble componente en las líneas de emisión anchas. Debido a lo anterior surgieron algunas preguntas fundamentales: ¿Cuál es la naturaleza de la BLR? ¿Cuál es el origen del gas de donde provienen las líneas en emisión? ¿Cuál es la relación con las propiedades del disco de acreción?

Dada la proximidad de la región emisora al agujero negro central es probable que la cinemática, así como la intensidad y el perfil de las líneas, sean la manifestación de los procesos de acreción y

outflows posiblemente relacionados. La obtención de nuevos datos nos permitirá recabar información de las variaciones en los perfiles de las líneas de emisión anchas, para estudiarlos dentro del contexto evolutivo de las condiciones físicas y cinemáticas en esta región.

2.3. Estudio de la galaxia anfitriona

La conexión entre las propiedades del AGN y las propiedades de la galaxia huésped tales como la masa estelar (por ejemplo, Vitale et al., 2013; Hernán-Caballero et al., 2013; Matsuoka et al., 2014; Reines y Volonteri, 2015 o la tasa de formación estelar (por ejemplo, Shimizu et al., 2015) son críticos para entender mejor la relación entre la galaxia huésped y el crecimiento del agujero negro. En el caso específico de este proyecto, en donde trabajaremos con AGNs de tipo 1 seleccionados de una muestra grande de galaxias, será de gran relevancia aprovechar los datos IFS para dos cuestiones: revelar el estado de la formación estelar, usando mapas resueltos de cocientes de líneas de emisión y mapas de trazadores de la SF, como $H\alpha$, y estudiar la cinemática de las galaxias anfitrionas, trazados tanto por las estrellas como el gas (usando $H\alpha$ y/o [OIII] 5007).

El estudio de la cinemática de estas galaxias, puede aportar detalles importantes sobre las galaxias con AGN. Al estudiarla, podríamos ser capaces de detectar movimientos no circulares, que no provengan de las componentes estructurales de la propia galaxia y que sean generados e impulsados por la actividad nuclear. Nuevamente, la resolución espacial de MaNGA, puede no ser la mejor para realizar un estudio detallado, sin embargo, sí puede ayudar a revelar comportamientos generales, que sean visibles a escalas mayores de un Kpc. El estudio de variabilidad en el perfil de las líneas anchas también nos puede dar detalles de la cinemática de la región donde se originan, la BLR y un posible vínculo cinemático entre esta región y el resto de la galaxia. En particular, comparar los mapas cinemáticos con los de formación estelar, es algo único que nos permite esta técnica, al hacerlo, podremos investigar si el AGN está perturbando el gas de las galaxias, y de esta manera afectando la formación estelar en estas regiones.

3 Método de búsqueda de AGNs en grandes catastrros

Este capítulo presenta el método de selección de AGNs tipo 1 en grandes catastrros de galaxias y el como se utilizó para la obtención de la muestra utilizada para esta tesis. Cabe destacar que no se emplearon los métodos tradicionales como los diagramas BPT (Baldwin et al., 1981) ya que estos utilizan cocientes de flujos de las líneas de emisión delgadas y el aplicarlo en AGNs tipo 1 puede haber un sesgo por la presencia de las líneas de emisión anchas. Por ello es importante utilizar alternativas y a continuación se presenta el método que desarrollé como parte de este proyecto.

3.1. La muestra de AGNs tipo 1

Para poder cumplir con los objetivos planteados en esta tesis, se comenzó con la selección de la muestra. Se empleó un método basado en el de Oh et al., 2015, el cual, se enfoca en la identificación de AGNs tipo 1 en grandes catastrros de galaxias, a través de las propiedades de la línea ancha de $H\alpha$. Convencionalmente, se suele hacer esta identificación utilizando la línea ancha de $H\beta$. Sin embargo, para AGNs de baja luminosidad, ésta línea no siempre es visible. Así mismo, la componente ancha de $H\alpha$ puede ser 3 veces más intensa que la de $H\beta$ haciéndola más visible.

La descripción de éste método así como la selección de la muestra se encuentran publicados en *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *stac1505* con la cita Cortes-Suárez et al., 2022 (CS22 de ahora en adelante) y anexado a esta tesis al final de este capítulo. En líneas generales, las ventajas de este método son las siguientes: 1) Evita el realizar una sustracción estelar. Los espectros ópticos centrales de las galaxias con núcleo activo a bajo z muestran diferentes características como líneas de absorción, líneas de emisión y un continuo subyacente con diferentes tipos de pendientes. Las líneas de absorción se deben principalmente a las poblaciones estelares de la galaxia anfitriona. Las líneas de emisión pueden tener diferentes fuentes de emisión además del AGN. Éstas pueden ser shocks, emisión de estrellas post-AGB, vientos y formación estelar. En el caso de las líneas de emisión del AGN, se tiene la contribución de las regiones de líneas anchas (para líneas permitidas) y angostas (para líneas permitidas y prohibidas). La pendiente del continuo va a depender de la edad de las poblaciones estelares, siendo creciente del azul al rojo cuando dominan las poblaciones de estrellas viejas y decreciente del azul al rojo cuando dominan las poblaciones de estrellas jóvenes. Así mismo, cuando se tiene la presencia de un núcleo activo muy potente, al espectro se le suma una ley de potencia proveniente del disco de acreción, la cual es pronunciada en la región de $H\beta$ pero

que se vuelve plana en la región de $H\alpha$ (Vanden Berk et al., 2001). Para visualizar correctamente las líneas de emisión de origen AGN, se recurre a la sustracción estelar, no obstante, este proceso puede ser degenerado y hacerlo de forma automatizada en grandes catastros puede resultar en la pérdida de AGNs tipo 1 si el ajuste no es el correcto. Es por ello que el método propuesto se enfoca únicamente en la identificación de la componente ancha de $H\alpha$, la cual es la línea permitida más intensa en el rango óptico. Principalmente porque todos los AGNs tipo 1 la presentan y porque la pendiente del continuo estelar + núcleo activo es plano en dicha región. Además, alrededor de $H\alpha$ se observa poca contaminación estelar. Aunque se tenga la presencia de otras líneas de emisión, el método se construyó para detectar líneas con $\text{FWHM} \geq 1500 \text{ km s}^{-1}$. Las componentes delgadas de $H\alpha$ y [NII] adyacentes, no afectan la detección de la componente ancha. Estas líneas se ajustarán posteriormente para la estimación de las propiedades de los AGNs. Así mismo, debido a que se extrae el espectro integrado de la región central, el cociente S/N obtenido es en general alto contribuyendo en la visualización de dicha línea. 2) Se enfoca en los AGNs tipo 1. Los diagramas BPT (Baldwin et al., 1981) y el diagrama WHAN (Cid Fernandes et al., 2010), al utilizar cocientes de líneas de emisión, funcionan bien para identificar AGNs tipo 2 pero no los tipo 1 debido a la contaminación en flujo que puede darse por la presencia de una componente ancha (ver 1.3). En CS22, se describe la identificación de 283 AGNs en una muestra de 4636 galaxias del SDSS DR15 (aproximadamente la mitad del catastro MaNGA). De éstos, 47 son de tipo 1 identificados con el método de cocientes de flujos y los otros 236 son de tipo 2 identificados con los criterios descritos en Sánchez et al., 2018. Éstos consisten en seleccionar a los objetos que tengan un ancho equivalente (EW por sus siglas en inglés) en $H\alpha$ mayor a 1.5 \AA , un umbral más relajado al propuesto por Cid Fernandes et al., 2010 de 3 \AA para distinguir entre fuentes emisoras de tipo AGN o de formación estelar ($\text{EW}(H\alpha) > 3 \text{ \AA}$) de otro tipo de fuentes como shocks o estrellas post-AGB ($\text{EW}(H\alpha) < 3 \text{ \AA}$) ya que, los objetos también deben encontrarse en la región de AGNs en los 3 diagramas BPT. En la sección 4.4 se muestra como algunos de los AGNs tipo 1 se encuentran en la región compuesta o de formación estelar dentro de estos diagramas pero que, al quitar la componente estelar y las componentes anchas, su posición cambia moviéndolas hacia la región de los AGNs.

Para esta tesis, se aplicó el método de cociente de flujos en el último data release de MaNGA, compuesto por 10,225 galaxias. Como pasos previos, se obtuvieron los espectros integrados de todos los spaxels caídos dentro de los 3 segundos de arco centrales de los cubos de datos de MaNGA y después se hizo una corrección por corrimiento al rojo para tener a todos los espectros en un sistema en reposo. Considerando el valor máximo de FWHM que pueden tener las líneas [NII] $\lambda\lambda 6548, 6584$ como límites superiores, y evitando la absorción estelar TiO a 6498 \AA , se definen intervalos de longitud de onda de 20 \AA de ancho, $6400\text{--}6420 \text{ \AA}$, $6520\text{--}6540 \text{ \AA}$ y $6590\text{--}6610 \text{ \AA}$ para caracterizar la región de $H\alpha$. El primer intervalo o banda, es una región adyacente en la que no hay líneas de emisión o absorción y donde se estima el flujo del continuo. Los otros dos intervalos son definidos como banda azul y banda roja, colocados a ambos lados de una región

donde se espera la presencia de una línea de emisión ancha. Para seleccionar las bandas, se tuvo en cuenta la ubicación de varias líneas estelares de absorción, así como los anchos de las líneas de emisión delgadas. En AGNs tipo 1, el ancho de las líneas delgadas cubre un FWHM desde unos pocos cientos de km s^{-1} hasta 1000 km s^{-1} mientras que la línea ancha de $\text{H}\alpha$, el FWHM puede ser tan grande y llegar a $10\,000 \text{ km s}^{-1}$ o más (Antonucci, 1993). Debido a posición de las bandas, el FWHM que podemos detectar está limitado a $\text{FWHM}(\text{H}\alpha_{BC})$ 1500 km s^{-1} para la banda azul y 1690 km s^{-1} para la banda roja. Con la subrutina *splot* del software IRAF, se estimaron los flujos de las bandas de cada una de las galaxias para posteriormente realizar el cociente de flujos entre la banda azul-continuo y banda roja-continuo. Como se explica en CS22, los cocientes de flujos son un indicador de la intensidad de la componente ancha de $\text{H}\alpha$.

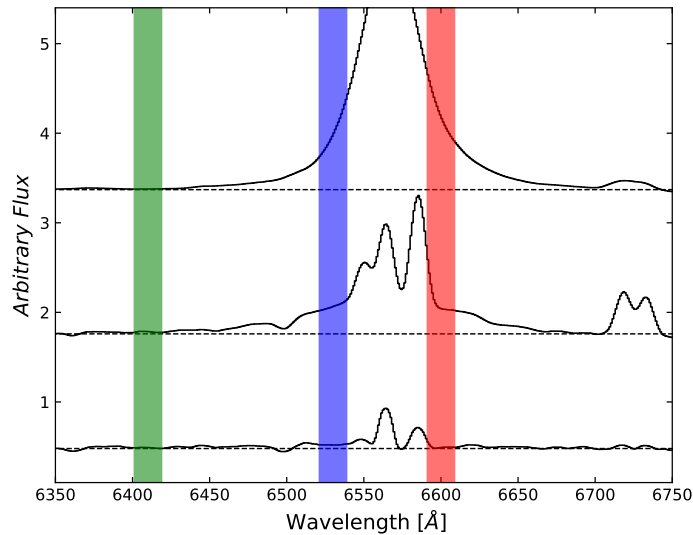


Figura 3.1: Tres espectros diferentes en la región $\text{H}\alpha$. El panel superior corresponde al espectro de un AGN tipo 1, el panel intermedio a un Seyfert 1.9 y el panel inferior a una galaxia sin núcleo activo. Las bandas ilustran los intervalos espectrales que adoptamos para estimar el flujo del continuo (verde) y el flujo de la componente ancha de $\text{H}\alpha$ (azul y rojo). Crédito de la imagen Cortes-Suárez et al., 2022

En la figura 3.1 se muestran las regiones de $\text{H}\alpha$ para 3 galaxias diferentes. De arriba a abajo se muestra el espectro de una Seyfert 1, Seyfert 1.9 y una galaxia sin líneas anchas. Así mismo se pueden visualizar las bandas del continuo (verde), banda azul y banda roja para hacer los cocientes. De existir la componente ancha (ver espectro superior de la figura 3.1), los flujos en las bandas roja y azul deben ser mayor al flujo del continuo por lo que se espera que los cocientes tengan valores mayores a 1. De no existir, se espera que el flujo sea similar al del continuo por lo que el cociente estaría alrededor de 1 (ver espectro inferior de la figura 3.1). Valores menores a 1 indicarían que, además de no existir la componente ancha, el continuo de la galaxia es decreciente hacia el rojo

(característico de galaxias con poblaciones estelares viejas) o que puede haber líneas en absorción. Para analizar correctamente los resultados, se utilizó el diagrama de caja y bigotes el cual nos permite visualizar las distribuciones de los cocientes banda azul-continuo y banda roja-continuo. Así mismo, si hay elementos que no tienen el mismo comportamiento que las distribuciones globales, éstos se evidenciarán como valores atípicos (outliers).

En la figura 3.2 se muestran en el panel izquierdo los diversos valores obtenidos en diagramas de caja y bigotes, así como los valores atípicos en forma de círculos negros. A la derecha de la figura, se tiene una ampliación de la región de la caja, en la cuál, se muestran los valores de los cuartiles. Éstos nos dicen a que valor se tiene el 25% de la muestra (Q1), el 50% (Q2 o mediana) y el 75% (Q3). A partir de ellos se obtienen los bigotes o límites superiores e inferiores de ambas bandas que también se muestran en la figura. Podemos apreciar que ambas distribuciones son muy compactas. Las cajas (Q3-Q1) tienen valores muy cercanos a 1, lo cual indica que el 50% de la muestra (5112 galaxias) tienen espectros planos en el intervalo 6400-6610, por lo que no tienen una componente ancha de $H\alpha$. Los valores que están por debajo de Q1 (2556 galaxias) tienen valores menores a 1, por lo que no son candidatos a tener una componente ancha de $H\alpha$. Eso nos deja con los valores que se encuentran por arriba de los cajas, alcanzado valores por arriba de 3, lo cual estaría evidenciando la presencia de una componente ancha.

Para discernir entre las galaxias que no tienen actividad nuclear debido a un AGN tipo 1 de las que si lo tienen, se utilizó el valor del límite superior de cada diagrama de caja y bigote. Dada una distribución de valores, los límites inferior y superior engloban a todos los valores que tienen el mismo comportamiento que la distribución contenida en la caja Q1-Q3. Fuera de éstos límites se encuentran los valores atípicos, es decir, valores que no pertenecen a la distribución global de la muestra. Tomando esto en cuenta y trasladándolo al contexto de la identificación de AGNs, se sabe que de un conjunto aleatorio de galaxias a bajo redshift, aproximadamente el 10% de ellos puede albergar un núcleo activo, siendo un porcentaje todavía menor el que sea un núcleo activo tipo 1¹. Por como se construyó el método, se puede argumentar que el conjunto de galaxias de MaNGA esta compuesto en su gran mayoría de galaxias sin AGN por lo que la distribución de valores de los cocientes de flujo debería estar alrededor de 1 y que la población de valores atípicos que se encuentran por arriba de los límites superiores, correspondan al de galaxias que contengan un AGN tipo 1.

En la figura 3.2 se pueden observar éstos límites como líneas azul (banda azul) y roja (banda roja), así como los valores atípicos (círculos negros). Por definición, el límite superior se obtiene de realizar la siguiente operación: $L_S = Q3 + 1.5 \times RIC$, donde $RIC = Q3 - Q1$ es el rango intercuartil el cual, engloba al 50% de la muestra. Por lo anterior, la longitud del límite superior no debe ser superior al 150% del rango intercuartil. Por ello, se establece el factor de 1.5 y, si el máximo no

¹La selección de galaxias de MaNGA solo esta condicionada por la masa estelar y el redshift pero no se priorizó el que tuvieran un núcleo activo o no por lo que es válido este argumento.

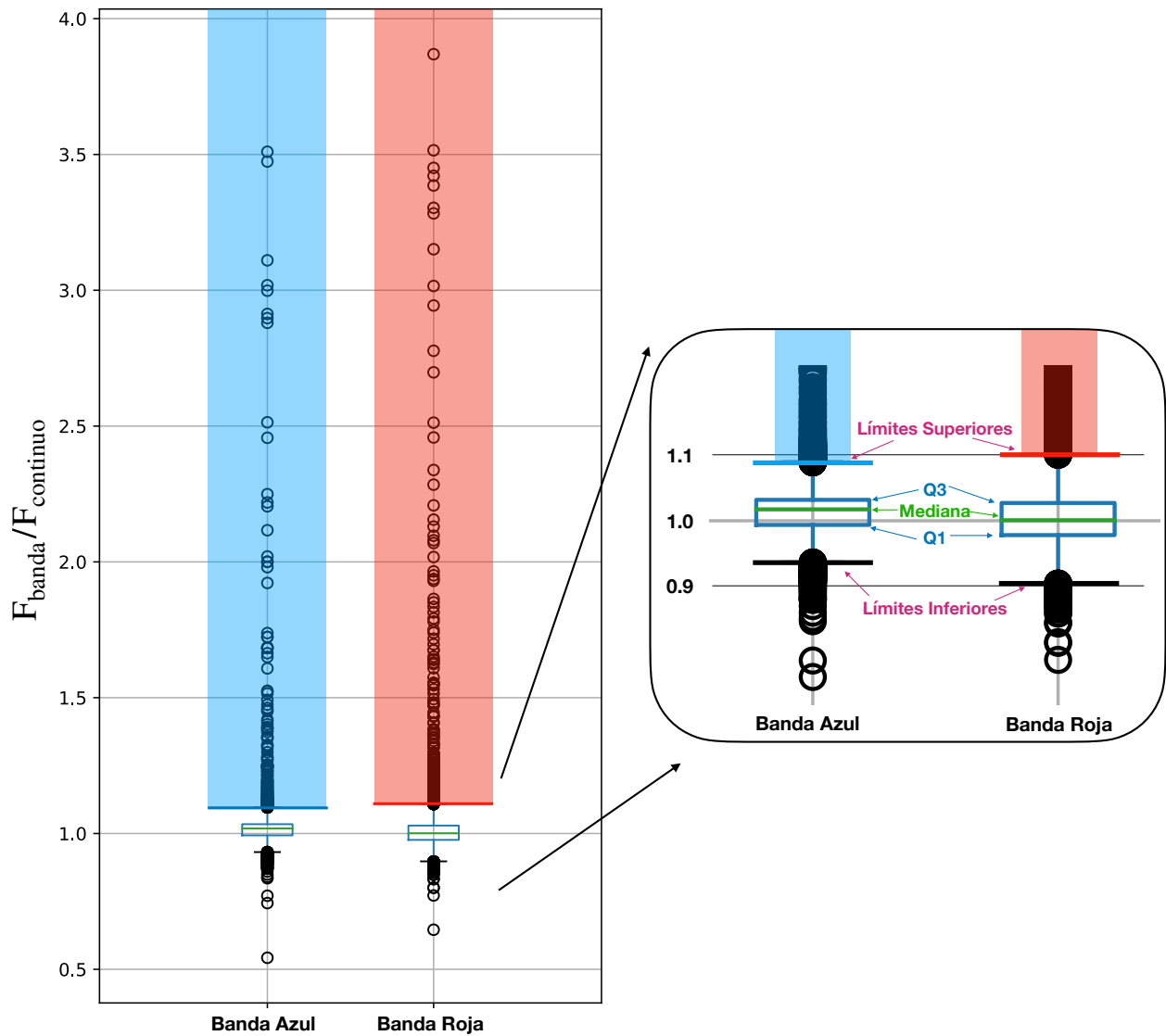


Figura 3.2: Izquierda: Diagramas de caja y bigotes utilizados para la selección de AGNs tipo 1. El eje vertical ilustra el cociente $F_{banda}/F_{continuo}$ y el eje horizontal la region espectral o banda donde se llevo a cabo la medicion. Los valores atípicos de cada banda se muestran como círculos negros, en la parte superior de los bigotes superiores (bandas azul y roja). Derecha: Ampliación de la región de la caja. Los cuartiles primero y tercero se muestran como recuadros azules, la mediana o cuartil dos como una línea verde, los bigotes superiores como líneas azul y roja y los límites inferiores como líneas negras. El criterio establece que los valores por arriba de los límites superiores corresponden a los candidatos a AGN tipo 1

supera ese valor, la longitud del límite superior será desde el tercer cuartil hasta ese máximo. Los límites superiores que obtuvimos para la muestra de 10,225 galaxias son 1.09 para la banda azul y 1.10 para la banda roja. Por arriba de estos límites, caen 466 (4.6%) y 1013 (9.9%) galaxias en la banda roja y azul, respectivamente. Para reducir aún más la muestra de candidatos, se consideró solo a aquellos que estuvieran por arriba de ambos límites superiores. De esta forma garantizamos que la componente ancha de $H\alpha$ sea lo suficientemente prominente como para visualizarla en ambas bandas. Solo 243 galaxias (2.4%) cumplen con este criterio. Finalmente, con la muestra ampliamente reducida, se realizó una inspección visual de los espectros en el óptico para verificar la presencia de la línea ancha. De este paso se obtuvieron: 91 AGNs Tipo 1, 49 AGNs tipo 2 y 103 falsos positivos. Es posible que el centro de la componente ancha de $H\alpha$ esté desplazado del centro de la componente delgada hacia el azul o hacia el rojo (ver figura 9.8 de Netzer, 2013). De tener uno de estos objetos en MaNGA puede que solo sea detectado por una banda. Es por ello que también se hizo la inspección visual de los candidatos de cada banda pero no se detectó ninguno de ellos.

Como se especificó en Cortes-Suárez et al., 2022, este método depende de la S/N de la muestra, por lo que los límites superiores pueden variar. Al compararlos con los obtenidos de la muestra de 4636 galaxias (la muestra estudiada en el artículo), notamos que los valores incrementaron, pues los obtenidos anteriormente fueron 1.037 y 1.056 para las bandas roja y azul, respectivamente. Esto puede afectar la detección de AGNs tipo 1 ya que de los 47 encontrados en la muestra del MPL-7, se detectaron 35 en este segundo análisis, perdiendo doce por el incremento en el valor de los límites superiores. De utilizar los límites superiores de la muestra anterior, rescataríamos esos 12 AGNs, sin embargo, la proporción de falsos positivos subiría de un 42% a un 87% perdiendo la eficiencia en la detección. Combinando ambas muestras, tenemos una muestra final de **103 AGNs tipo 1** en el castastro de MaNGA (MPL-11). Las principales propiedades de las galaxias anfitrionas tales como su indicador en el SDSS, su indicador en MaNGA, sus coordenadas, su corrimiento al rojo y su tipo morfológico, se encuentran en las tablas 3.1, 3.2 y ,3.3

3.2. Otros catálogos

Una vez definida la muestra, se comparó con los demás catálogos de AGNs Tipo 1 que existen, los cuales son de Stern y Laor, 2012 (SL12 de ahora en adelante), Oh et al., 2015 (Oh15 de ahora en adelante) y Liu et al., 2019 (Liu19 de ahora en adelante). Estos han catalogado a todo el Data Release 7 de SDSS, el cual, también incluye a todas las galaxias de MaNGA. Al hacer un cross-match entre los catálogos con MaNGA se encontró el siguiente número de AGNs tipo 1: 77 de SL12, 78 de Oh15 y 90 de Liu19. Al hacer un cross-match entre estos AGNs con los 103 de la muestra, se encontraron las siguientes coincidencias: 69 (67%) con SL12, 62 (60%) con Oh15 y 73 (71%) con Liu19, teniendo 24 AGNs Tipo 1 de dichos catálogos, diferentes a los de nuestra muestra. Las

SDSS-ID	MaNGA-ID	R.A.	Dec	z	Tipo Morfológico
J112536.89+542256.0	1-614567	171.4007	54.3826	0.0207	S0
J134300.79+360956.3	1-418023	205.7533	36.1657	0.0237	S0
J112637.73+513423.0	1-149561	171.6573	51.5730	0.0264	SBa
J134630.60+224221.6	1-523004	206.6275	22.7060	0.0266	SABab
J220429.49+122633.0	1-596598	331.1229	12.4426	0.0266	SABa
J134245.69+243524.0	1-523211	205.6904	24.5901	0.0266	S0
J080020.98+263648.8	1-163966	120.0875	26.6135	0.0267	SBa
J171518.57+573931.6	1-24148	258.8274	57.6588	0.0282	SBb
J153552.40+575409.4	1-90242	233.9683	57.9026	0.0302	E
J123650.90+453902.9	1-620993	189.2133	45.6512	0.0303	SBbc
J030834.31+003303.3	1-37633	47.1430	0.5509	0.0308	S0
J162838.49+393305.9	1-594493	247.1593	39.5512	0.0312	Edc
J075525.29+391109.8	1-71974	118.8554	39.1861	0.0332	SBc
J113409.01+491516.3	1-174631	173.5376	49.2545	0.0372	Sa
J075828.10+374711.8	1-71872	119.6171	37.7866	0.0408	Edc
J081516.86+460430.8	1-574504	123.8203	46.0753	0.0410	SABab
J210721.91+110359.0	1-113405	316.8413	11.0664	0.0425	Sa
J160505.14+452634.7	1-210017	241.2714	45.4430	0.0433	SABb
J143031.99+524229.0	1-593159	217.6300	52.7072	0.0449	SBa
J030510.60-010431.6	1-37385	46.2942	-1.0755	0.0451	SBab
J082842.73+454433.2	1-574519	127.1781	45.7426	0.0491	Sa
J164520.62+424528.0	1-94604	251.3359	42.7578	0.0493	S0
J075643.72+445124.1	1-44303	119.1822	44.8567	0.0499	SABb
J162501.43+241547.3	1-295542	246.2560	24.2632	0.0503	Edc
J084654.09+252212.3	1-385623	131.7254	25.3701	0.0508	S0a
J212851.19-010412.4	1-180204	322.2133	-1.0701	0.0515	SBbc
J075243.60+455655.9	1-604860	118.1842	45.9493	0.0517	E
J081319.33+460849.7	1-574506	123.3305	46.1472	0.0538	SAB0a
J040548.78-061925.8	1-52660	61.4533	-6.3238	0.0569	S0a
J160436.23+435247.2	1-210186	241.1510	43.8798	0.0598	SBa
J212401.89-002158.6	1-550901	321.0079	-0.3663	0.0618	SBa
J134401.90+255628.3	1-423024	206.0079	25.9412	0.0621	SBab
J170007.17+375022.2	1-95585	255.0299	37.8395	0.0633	SBc
J075756.71+395936.1	1-71987	119.4863	39.9934	0.0658	Sa
J082840.99+173453.0	1-460812	127.1708	17.5814	0.0665	Sa

Cuadro 3.1: Propiedades de las 103 galaxias con núcleo activo de acuerdo a nuestro criterio de selección. La magnitud corresponde a la banda g proporcionado por SDSS. El corrimiento al rojo fue obtenido por Pipe3D (Sánchez et al., 2016b). La clasificación morfológica de las galaxias anfitrionas se obtuvo de Vázquez-Mata et al., 2022. Parte 1

SDSS-ID	MaNGA-ID	R.A.	Dec	z	Tipo Morfológico
J142004.29+470716.8	1-235576	215.0179	47.1213	0.0704	SABa
J153810.04+573613.1	1-90231	234.5418	57.6037	0.0737	Sc
J172935.81+542939.9	1-24660	262.3993	54.4944	0.0819	SBb
J073846.89+295328.5	1-121075	114.6954	29.8913	0.0979	Edc
J111803.22+450646.8	1-256832	169.5134	45.1130	0.1072	S0a
J030639.57+000343.1	1-37863	46.6649	0.0620	0.1074	S0a
J075217.84+193542.2	1-298111	118.0743	19.5951	0.1170	SABb
J072656.07+410136.0	1-548024	111.7337	41.0267	0.1294	SBb
J171411.63+575834.0	1-24092	258.5485	57.9761	0.0926	S0
J073623.13+392617.7	1-43214	114.0964	39.4383	0.1180	S0a
J030652.09-005347.5	1-37336	46.7171	-0.8965	0.0840	Sab
J211646.34+110237.4	1-113712	319.1931	11.0437	0.0807	SABab
J090838.45+323534.6	1-300461	137.1603	32.5930	0.0142	SBcd
J033458.00-054853.2	1-51621	53.7417	-5.8148	0.0183	S0a
J125710.75+272417.6	1-456366	194.2948	27.4049	0.0207	SB0a
J100207.04+030327.6	1-60653	150.5293	3.0577	0.0234	SABab
J130620.97+531823.2	1-195235	196.5874	53.3064	0.0237	S0
J075151.88+494851.5	1-378688	117.9662	49.8143	0.0244	SABa
J171228.43+355302.6	1-547191	258.1185	35.8841	0.0264	SBab
J131305.81+012755.9	1-66643	198.2742	1.4655	0.0294	SB0a
J144331.29+492335.1	1-197773	220.8804	49.3931	0.0302	Sc
J121607.08+504930.1	1-175853	184.0295	50.8251	0.0310	SBb
J004730.34+154149.4	1-39615	11.8765	15.6971	0.0314	SABb
J230920.26+004523.3	1-28725	347.3345	0.7565	0.0324	SBb
J215226.03-081024.9	1-98401	328.1085	-8.1736	0.0345	Sc
J152940.58+302909.3	1-316277	232.4191	30.4859	0.0357	SABa
J143452.46+483942.7	1-197677	218.7186	48.6619	0.0366	SBab
J120908.80+440011.5	1-258373	182.2867	44.0032	0.0375	SABb
J162952.88+242638.4	1-295411	247.4704	24.4440	0.0379	Merger
J081718.55+520147.7	1-352023	124.3274	52.0299	0.0385	S0a
J004719.39+144212.5	1-39766	11.8308	14.7035	0.0391	SBb
J231340.49+140116.0	1-597772	348.4187	14.0210	0.0409	Sbc
J125614.20+565224.9	1-591055	194.0593	56.8734	0.0422	Sc
J020615.98-001729.2	1-35650	31.5666	-0.2914	0.0430	SB
J172239.93+305252.6	1-547548	260.6664	30.8813	0.0431	Sab
J160051.41+462853.1	1-134271	240.2142	46.4814	0.0432	SAB0
J084137.88+545506.6	1-47409	130.4078	54.9185	0.0446	SABb

Cuadro 3.2: Propiedades de las 103 galaxias con núcleo activo, parte 2.

SDSS-ID	MaNGA-ID	R.A.	Dec	z	Tipo Morfológico
J160154.28+315337.0	1-268479	240.4751	31.8921	0.0450	SBb
J204745.25-052515.6	1-96589	311.9386	-5.4210	0.0457	Sab
J232721.89+152437.0	1-598372	351.8415	15.4104	0.0457	S0
J150744.40+512703.0	1-631871	226.9375	51.4528	0.0459	Sb
J160652.16+275539.0	1-296733	241.7174	27.9275	0.0460	SABab
J075431.78+164826.2	1-382273	118.6342	16.8097	0.0461	Sab
J160518.09+520712.6	1-576315	241.3254	52.1202	0.0464	SABb
J005342.63-010506.6	1-32223	13.4277	-1.0852	0.0466	SABa
J101439.69-004949.0	1-607835	153.6648	-0.8309	0.0490	SABbc
J163813.71+261654.3	1-272819	249.5572	26.2818	0.0514	SABb
J115710.68+221746.2	1-495383	179.2945	22.2962	0.0523	SABa
J085554.27+005111.0	1-53093	133.9762	0.8531	0.0525	S0
J163332.13+245905.0	1-295093	248.3839	24.9847	0.0594	SABa
J021257.59+140610.2	1-42214	33.2400	14.1028	0.0617	SABa
J213227.90+100816.9	1-635646	323.1159	10.1386	0.0630	SABb
J161301.62+371714.9	1-200510	243.2568	37.2875	0.0695	SABbc
J214221.79-082153.4	1-212706	325.5908	-8.3649	0.0718	SABbc
J094650.18+432525.8	1-166919	146.7091	43.4238	0.0722	-
J154954.44+085140.6	1-336777	237.4770	8.8612	0.0738	SABbc
J160455.20+280956.9	1-633584	241.2314	28.1658	0.0768	SBbc
J092523.37+043032.5	1-560065	141.3474	4.5091	0.0831	E
J155642.84+294847.4	1-297219	239.1785	29.8132	0.0842	E
J121303.34+513854.9	1-150947	183.2640	51.6486	0.0849	Sb
J223338.41+131243.6	1-115875	338.4101	13.2121	0.0932	SABb
J101042.59+061157.0	1-607451	152.6807	6.2004	0.0977	Eda
J154359.70+245954.5	1-375452	235.9988	24.9985	0.0996	Sb
J205141.54+005135.4	1-179024	312.9231	0.8599	0.1064	SABb
J092739.77+050312.5	1-180998	141.9157	5.0535	0.1261	SABb
J162501.43+241547.3	1-265495	243.5550	26.0712	0.1309	Sa
J141623.14+381127.4	1-261280	214.0964	38.1910	0.1347	SBb
J205141.54+005135.4	1-179024	312.9231	0.8599	0.1064	-
J085835.98+013149.5	1-53412	134.6499	1.5304	0.1068	SBab
J171725.52+291107.9	1-177972	259.3564	29.1855	0.0286	SB0
J164909.57+361325.8	1-136044	252.2899	36.2238	0.0310	SAB0a
J094104.11+344358.4	1-567397	145.2672	34.7329	0.0499	Sab
J163115.52+235257.5	1-295059	247.8147	23.8826	0.0592	E
J215418.40+002117.9	1-635845	328.5782	0.3551	0.0671	Scd
J105439.31+475144.2	1-173641	163.6638	47.8623	0.0729	SBc

Cuadro 3.3: Propiedades de las 103 galaxias con núcleo activo, parte 3.

razones pueden ser diversas pero la principal es que, al ser los AGNs objetos de gran variabilidad temporal, es decir, que el espectro y su luminosidad cambien en lapsos de tiempos cortos, puede que las componentes anchas ya no sean visibles por un proceso de apagado o puede que pasen por un proceso de encendido que las haga visible recientemente. Notamos que la diferencia en años entre las observaciones del DR7 y MaNGA van de los 3 a 16 años, tiempo suficiente para observar esta variabilidad (Storchi-Bergmann et al., 2017).

Al hacer una inspección visual de los espectros de estos AGNs, tanto del DR7 como de MaNGA notamos lo siguiente: 11 son AGNs tipo 2 pues no se observan componentes anchas, 1 objeto si es AGN tipo 1 pero fue mal observado por MaNGA (el AGN no cae dentro del FoV de su cubo de datos), 2 están muy contaminados por el continuo estelar por lo que son ambiguos y 9 son changing look AGN, ya que se observa la componente ancha de $H\alpha$ en el espectro del DR7 pero no en el de MaNGA. Por CS22, sabemos que nuestro método de identificación de AGNs tipo 1 da mejores resultados que los otros, obteniendo las siguiente coincidencias: 67 % con SL12, 65 % con Oh15 y 81 % con Liu19, de una muestra de 4636 galaxias. En esta nueva muestra obtuvimos el mismo resultado en la identificación de AGNs tipo 1, con una coincidencia similar a SL12 pero menor con Oh15 y Liu19, indicando mejores resultados para una muestra mayor de galaxias (10,225).

De esta misma inspección visual se identificaron diferentes formas en el continuo, en algunos casos el espectro era dominado por líneas de emisión y en otros era dominado por líneas en absorción. En la siguiente sección se describirá el como separamos a los AGNs en tres familias dependiendo de la presencia de líneas anchas y la forma del continuo.

3.3. Familias de AGNs

Los espectros de los AGNs muestran grandes diferencias en la forma del continuo y la intensidad de las líneas de emisión de las componentes delgadas y/o anchos (e.g. Boroson y Green, 1992; Sulentic et al., 2000; Shen y Ho, 2014; Padovani et al., 2017; Hickox y Alexander, 2018). Las diferencias en el perfil espectral son consecuencia de las diferentes SED y las condiciones físicas en el gas donde se generan estas líneas, en última instancia, relacionadas con la orientación del disco de acreción. Para clasificar esta diversidad en términos de las contribuciones de la galaxia anfitriona y la ley de potencia del AGN (HG-PL), proponemos utilizar índices espectrales similares a los índices de Lick, diseñados para estudios de poblaciones estelares que van desde $CN\lambda 4161$ hasta $TiO_2\lambda 6233$ (e.g. Worthey et al., 1994). Usamos mediciones particulares del ancho equivalente para regiones espectrales que contienen líneas de absorción estelar o líneas de emisión y sus continuos locales cercanos correspondientes. Definimos un índice H (I_H) en el intervalo espectral 3950–3990 Å donde la línea de absorción CaII H es fuerte en espectros dominados por líneas de absorción estelares. Cuando la emisión del AGN es dominante, la línea CaII H se "llena" con el continuo no térmico y se pueden ver las líneas de emisión de $[NeII]\lambda 3967$ y $H\epsilon$. El tamaño de este intervalo

es lo suficientemente amplio como para incluir la ubicación esperada de la línea de absorción CaII H para espectros dominados por galaxias anfitrionas (que pueden alcanzar velocidades superiores a 500 km s^{-1} , Cherinka y Schulte-Ladbeck, 2011), y las líneas de emisión [NeII] λ 3967 y He en los espectros dominados por el AGN. Un segundo intervalo espectral pretende medir H β ya sea en emisión o absorción. En el caso de una fuerte contribución de AGN, se incluye parte del componente amplio de emisiones. Elegimos el Índice Lick H β ($I_{H\beta}$) definido en el intervalo espectral 4848-4878 Å, donde la línea de emisión H β podría desaparecer si hay una línea de absorción estelar intensa (Greene y Ho, 2005). Para calcular los índices CaII H y H β , usamos los continuos alrededor de 4020 y 5100 Å, respectivamente, con un ancho de 50 Å. El continuo para estimar el CaII H-Index (índice H) está destinado a considerar la pendiente del salto de Balmer. Por definición de ancho equivalente, éste se calcula de la siguiente forma:

$$AE_{\lambda} = \int (1 - f_{\lambda}/f_0) d\lambda \quad (3.1)$$

donde f_{λ} representa el flujo en el intervalo correspondiente al índice y f_0 al flujo de su continuo adyacente. Para nuestras mediciones, tomamos el flujo promedio de los respectivos continuos para f_0 . En la figura 3.3 se muestra la localización de los 103 AGNs en el diagrama de estos índices. Éstos tienen un código de color que lo identifica con una de estas familias:

(i) **AGN dominante.** Están en la región extrema donde el índice H $>0 \text{ \AA}$ (estrellas moradas, 17 galaxias). Los espectros de los objetos en esta región muestran una línea de emisión ancha de Balmer que tiene varios componentes, con una aparente ausencia de líneas de absorción, y el continuo dominado por la ley de potencia AGN.

(ii) **Galaxia dominante.** Están ubicados en el otro extremo, donde el índice H $<0 \text{ \AA}$ y el índice H β $<3.7 \text{ \AA}$ (estrellas azules, 50 galaxias). Los espectros de los objetos en esta región muestran solo una componente ancha en H α con un continuo mayoritariamente dominado por la contribución estelar.

(iii) **Intermedio.** Un tercer grupo puede describirse entre los dos extremos anteriores, en la región índice H $<0 \text{ \AA}$ e índice H β $>3.7 \text{ \AA}$ (estrellas verdes, 22 galaxias). Los espectros de los objetos en esta región muestran las líneas de emisión anchas H α y H β , la ley de potencia AGN y las líneas de absorción.

En la misma figura hay un recuadro inferior derecho donde se muestra el espectro característico de cada familia. Al menos 89 galaxias pueden clasificarse dentro de estos grupos pero 14 son ambiguos. Para realizar su respectiva asignación de grupo, se realizó otra inspección visual. Hay 2 AGN dominante que se encuentran en la región intermedia, uno de ellos es Mrk 0231, la cual es una galaxia infrarroja ultraluminosa (ULIRG por sus siglas en inglés) y su espectro óptico esta tan contaminado por polvo que no se puede modelar con un conjunto de poblaciones estelares. El otro caso es una galaxia que muestra líneas anchas con perfil lorentziano, alta emisión de FeII y la ley de potencias, sin embargo, también se observa CaII H. En el caso de las intermedias que se encuentran

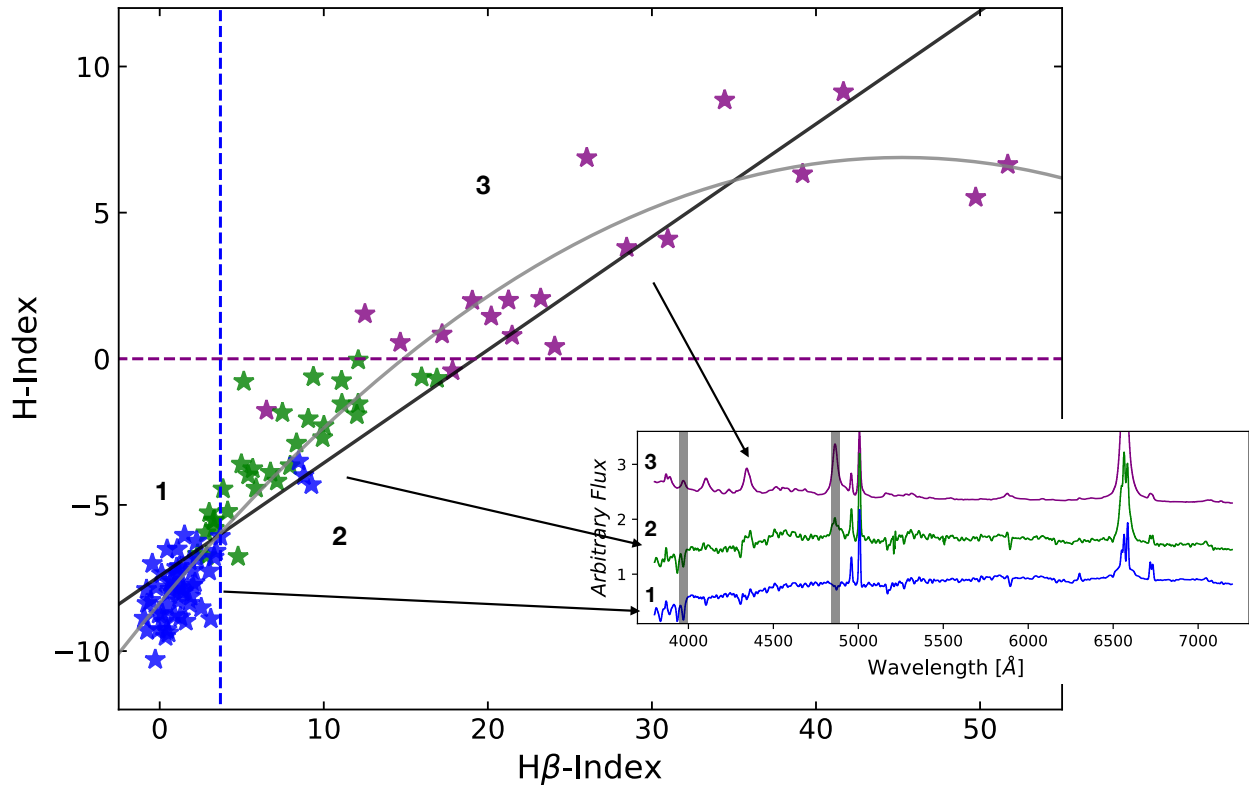


Figura 3.3: Diagrama de Índices $H\beta$ -H ($I_{H\beta}$ vs I_H) donde se muestran los 103 AGNs tipo 1. Las líneas discontinuas en púrpura y azul ilustran las regiones ocupadas por cada grupo (ver el texto). El patrón de color indica cada grupo de AGN, azul para los espectros dominados por la galaxia (1), verde para el tipo intermedio (2) y violeta para los dominados por el AGN (3). El recuadro inferior derecho ilustra un espectro característico por cada grupo. Nótese las diferencias en la pendiente del continuo, las líneas de emisión/absorción, la presencia/ausencia de la línea ancha de $H\beta$ y el cambio en las regiones espectrales (bandas en gris) donde se llevaron a cabo las mediciones de los índices.

en la región de galaxia dominante, poseen mucha contaminación estelar y la componente ancha de $H\beta$ es poco intensa. En el caso de las galaxias dominantes dentro del grupo intermedio, poseen líneas delgadas de $H\beta$ muy intensas. Al final, la muestra se pudo dividir en **19 AGN dominante, 31 intermedio y 53 galaxia dominante**.

En la figura 3.3 se puede notar una tendencia en este diagrama la cual se ajustó de manera lineal (línea negra) y utilizando una función cuadrática (línea gris). El mejor ajuste lineal es el siguiente:

$$I_H = (-7,43 \pm 0,21) + (0,39 \pm 0,02) I_{H\beta} \quad (3.2)$$

con un valor de r^2 igual a 0.85. En el caso del ajuste cuadrático, obtuvimos la siguiente relación:

$$I_H = (-8,35 \pm 0,18) + (0,67 \pm 0,03) I_{H\beta} - (0,007 \pm 0,001) I_{H\beta}^2 \quad (3.3)$$

con $r^2=0.93$. Estos valores nos indican una buena correlación entre ambos índices en relación a la actividad nuclear y la contaminación estelar. Al compararlos con los valores estimados en la figura 10 del primer artículo, encontramos diferencias notorias en la ordenada al origen pero las pendientes de los ajustes lineales y las constantes de la función cuadrática eran bastante similares (la mayor diferencia es de 0.04). También hicimos pruebas estadísticas para ver la correlación entre ambos índices. Con la prueba de Pearson, para ajustes lineales, se encontró un estadístico de 0.92 y un p -value de 4.86×10^{-44} . Con la prueba de Spearman, para ver si la correlación es lineal o no, obtuvimos un coeficiente de 0.92 y un p -value de 6.85×10^{-44} . Estos resultados nos indican que hay una fuerte correlación lineal entre ambas cantidades.

En los siguientes capítulos, utilizaremos este esquema de clasificación así como parte de esta muestra de AGNs.

3.4. Primer Artículo: SDSS-IV MaNGA: Identification and Multiwavelength Properties of Type-1 AGN in the DR15 sample



SDSS-IV MaNGA: Identification and multiwavelength properties of Type-1 AGN in the DR15 sample

Edgar Cortes-Suárez,¹★ C. A. Negrete,²★ H. M. Hernández-Toledo,¹★ H. Ibarra-Medel³ and I. Lacerna^{4,5}

¹*Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-264, 04510 CDMX, Mexico*

²*CONACyT Research Fellow – Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-264, 04510 CDMX, Mexico*

³*Department of Astronomy, University of Illinois Urbana-Champaign, 1002 W Green St, Urbana, IL-61801, USA*

⁴*Instituto de Astronomía y Ciencias Planetarias, Universidad de Atacama, Copayapu 485, Copiapó, Chile*

⁵*Millennium Institute of Astrophysics, Nuncio Monsenor Sotero Sanz 100, Of. 104, Providencia, Santiago, Chile*

Accepted 2022 May 26. Received 2022 May 13; in original form 2021 December 8

ABSTRACT

We present a method to identify type-1 active galactic nuclei (AGNs) in the central 3 arcsec integrated spectra of galaxies in the MaNGA DR15 sample. It is based on flux ratios estimates in spectral bands flanking the expected $H\alpha$ broad component $H\alpha_{BC}$. The high signal-to-noise ratio obtained (mean $S/N = 84$) permits the identification of $H\alpha_{BC}$ without prior subtraction of the host galaxy (HG) stellar component. A final sample of 47 type-1 AGN is reported out of 4700 galaxies at $z < 0.15$. The results were compared with those from other methods based on the SDSS DR7 and MaNGA data. Detection of type-1 AGN in those works compared to our method goes from 26 per cent to 81 per cent. Spectral indexes were used to classify the type-1 AGN spectra according to different levels of AGN-HG contribution, finding 9 AGN-dominated, 14 intermediate, and 24 HG-dominated objects. Complementary data in NIR-MIR allowed us to identify type I AGN-dominated objects as blue and HG-dominated as red in the *WISE* colours. From NVSS and FIRST radio continuum data, we identify 5 HERGs (high-excitation radio galaxies) and 4 LERGs (low-excitation radio galaxies), three showing evidence of radio-jets in the FIRST maps. Additional X-ray data from *ROSAT* allowed us to build $[O\ III]$ and $H\alpha_{BC}$ versus X-ray, NIR-MIR, and radio continuum diagrams, showing that $L(H\alpha_{BC})$ and $L([O\ III])$ provide good correlations. The range in $H\alpha_{BC}$ luminosity is wide $38 < \log L(H\alpha_{BC}) < 44$, with $\log FWHM(H\alpha_{BC}) \sim 3-4$, covering a range of Eddington ratios of $-5.15 < \log L_{bol}/L_{Edd} < 0.70$. Finally, we also identify and report ten possible changing-look AGN candidates.

Key words: galaxies: active – quasars: emission lines.

1 INTRODUCTION

The identification of active galactic nuclei (AGNs), mostly type-2 AGN (which only show narrow emission lines) but also AGN in general, frequently uses narrow emission lines that emerge from gas that is photoionized by the nuclear ionizing continuum, estimating their flux ratios and placing them into the BPT diagnostic diagrams (Baldwin, Phillips & Terlevich 1981; Kewley et al. 2001; Kauffmann et al. 2003; Kewley et al. 2006). Other studies have shown however, the importance of taking into account the contribution from post-asymptotic giant branch (AGB) emission and shocks that may lead us to misinterpretations in these diagrams. To this purpose, the introduction of the WHAN diagram ($EW(H\alpha)$ versus $\log [N\ II]/H\alpha$; Cid Fernandes et al. 2011) has been useful to disentangle these contributions.

On the other hand, the identification of type-1 or broad line AGN, based on the presence of broad permitted emission lines (mainly $H\alpha$ and $H\beta$ in the optical range) is also fraught with difficulties. Broad emission lines (BELs) show complex profiles that

are difficult to identify correctly. The shape and the width of the BEL profiles depend, among other parameters, on the geometry of the line emitting region, on obscuring effects, on the superposition of line emission from different regions, and on the anisotropy of the line emission clouds. Furthermore, the observed velocity field might be a superposition of different components, such as Doppler motions, turbulence, shocks, inflows/outflows, and rotation, such that different velocity components result in different profiles, and thus, the final profile is a convolution of all these. (Sulentic, Marziani & Dultzin-Hacyan 2000; Zamfir et al. 2010; Marziani et al. 2018).

Among previous important attempts to identify type-1 AGN in the nearby Universe, we mention Ho, Filippenko & Sargent (1995), Hao et al. (2005), Greene & Ho (2007), Onori et al. (2017), Oh et al. (2011, e.g. the OSSY catalogue). More recently, attempts such as Stern & Laor (2012), Oh et al. (2015), and Liu et al. (2019) have increased significantly the number of these objects, based on the analysis of available spectra from the Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 (SDSS DR7) database. Stern & Laor (2012) implemented a flux ratio method around the $H\alpha$ region, interpreting the excess flux over an interpolated continuum as due to the presence of a broad line component. Oh et al. (2015) proposed the estimate of a flux ratio by considering a spectral band and an adjacent continuum, further

* E-mail: ecortes@astro.unam.mx (ECS); alenka@astro.unam.mx (CAN); hector@astro.unam.mx (HMHT)

refining their criteria to recover low luminosity type-1 AGN. Notice also that both Stern & Laor (2012) and Oh et al. (2015), applied a host galaxy subtraction to the spectra as part of their methodologies.

Other projects like SPIDERS (SPectroscopic IDentification of *eROSITA* Sources; Dwelly et al. 2017) identify type-1 AGN as optical counterparts of X-ray surveys like *ROSAT*, *XMM-Newton* and more recently from eFEDS (the *eROSITA* Final Equatorial-Depth Survey). Notice, however, that the identification of SPIDERS type-1 AGN uses the spectroscopic coverage around $H\beta$ and/or $MgII$ emission lines, instead of the $H\alpha$ region.

With the advent of surveys using the integral field spectroscopy (IFS) technique, more detailed methods for identifying and analysing AGN (in particular of type-1 AGN), and their relation to the host galaxies are possible. Among the attempts to identify AGN using data from the MaNGA survey, we mention Rembold et al. (2017) and Sánchez et al. (2018). They identified AGN in the MaNGA Product Launch 5 sample (MPL-5, which contains 2792 galaxies) by using the BPT and WHAN diagrams. While Rembold et al. (2017) consider only candidates above the Kewley line (defined in Kewley et al. 2001) in the $[NII]$ BPT diagram and with $EW(H\alpha) > 3$, Sánchez et al. (2018) consider all the candidates above the Kewley lines in the three BPT diagrams ($[NII]$, $[OI]$, and $[SII]$) but with a more relaxed threshold in $EW(H\alpha)$ (> 1.5). They identified 62 and 98 AGNs, respectively, regardless of whether they were type-1 or 2 AGN.

In contrast, Wylezalek et al. (2018, 2020) followed a different methodology to find AGN in the MaNGA survey. They took advantage of the IFS data by building spatially resolved BPT diagrams, identifying 308 AGN candidates from MPL-5. More recently, Comerford et al. (2020) made a cross-matching of the MaNGA MPL-8 data (6261 galaxies) with other catalogues at different wavelengths, finding 406 AGN, most of them identified as radio sources.

In this work, we present a method to identify type-1 AGN in the MaNGA survey by using the integrated spectra of the central 3 arcsec of the IFS data. It is based on the estimate of two flux ratios placed at the red and blue positions aside from the expected $H\alpha$ broad emission line. This is a ‘non-invasive’ method that avoids the host galaxy subtraction of the optical spectra and considers only the prominence of the $H\alpha$ emission line broad component for a given signal-to-noise ratio (S/N). The method was applied to the MaNGA DR15 (MPL-7) data sample and further tested by using data from the SDSS DR7, showing comparable results to other methods that identify type-1 AGN in the DR7 catalogues.

This paper is organized as follows. Section 2 summarizes the description of MaNGA survey, the spectra used in this work, and its multiwavelength information. Section 3 describes the selection method used to identify AGN with broad emission lines, as well as comparisons considering the host galaxy subtraction and the BPT and WHAN diagrams selection. Section 4 reports a comparison of our final sample with previous SDSS and MaNGA AGN catalogues, applying also our method in those catalogues. Section 5 presents a characterization of our type-1 AGN sample in terms of properties in the infrared, radio, X-ray, and optical properties. Finally, in Section 6, we summarize the results and present our conclusions. We assume a Hubble constant $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_m = 0.3$, and $\Omega_\Lambda = 0.7$ throughout.

2 DATA SAMPLE

The MaNGA survey is part of the SDSS-IV project that was dedicated to observe around 10 000 nearby galaxies, in a redshift range $z < 0.15$, with integral field spectroscopy. The survey covers a wide interval from 3 600 Å to 10 000 Å in the optical wavelength, simultaneously

using 17 integral field units (IFUs) each one composed of arrays of 2 arcsec diameter fibres to map in detail the core and the galaxy within the field of view. Each IFU feeds a dual channel spectrograph for the red and blue arms, respectively (Smee et al. 2013). The average spectral resolution ($\lambda/\delta\lambda$) in the blue channel is 1915, and 2250 in the red one. Detailed description of the observations, as well as the selection criteria can be found in Bundy et al. (2015). Yan et al. (2016a) describe the survey spectrophotometric calibrations, while Law et al. (2015) explains the observational strategy as well as the pipeline used for the data reduction.

Three main subsamples were generated in the MaNGA sample. A primary sample (initially about 50 per cent of the targets), with coverage up to $R = 1.5 \text{ Re}$ (effective radius) having a flat distribution in K -corrected i -band absolute magnitude ($M-i$). A secondary sample (about 33 per cent of the initial targets) having a flat distribution in $M-i$ with coverage up to $R = 2.5 \text{ Re}$, and a third colour-enhanced supplement subsample designed to add galaxies in regions of the (NUV - i) versus $M-i$ colour-magnitude diagram that are underrepresented in the primary sample, such as high-mass blue galaxies and low-mass red galaxies (about 17 per cent of the initial targets; Wake et al. 2017).

In this paper, we carry out an analysis of the spectroscopic data in the MaNGA DR15 (Aguado et al. 2019) IFS survey, for 4636 galaxies, about half of the total MaNGA sample. The integrated spectra in the central 3 arcsec circular aperture was synthesized for each galaxy. To test the results, we used the raw and stellar subtracted spectra generated with the starlight code (Cid Fernandes et al. 2005). We also use the data from the MPL-10 version of the PIPE3D Valued Added Catalogue¹ (VAC; Sánchez et al. 2016, 2021; Lacerda et al. 2022), a fitting tool for the analysis of the stellar populations and the ionized gas derived from moderate resolution IFS spectra of galaxies. Multiwavelength information was gathered for our final type-1 AGN sample from different data bases; the *WISE* catalogue (*Wide-field Infrared Survey Explorer*; Wright et al. 2010) at IR wavelengths, radio continuum from FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty centimeters; Becker, White & Helfand 1995) and NVSS (NRAO Very Large Array Sky Survey; Condon et al. 1998), as well as X-ray catalogues mainly *ROSAT* (Boller et al. 2016) in order to carry out a first analysis of their multiwavelength properties.

3 TYPE-1 AGN SELECTION METHOD

Among the reasons for studying broad-line (or type-1) AGN are that they permit us to retrieve kinematic information of the region closest to the central supermassive black hole (SMBH). Another advantage is that under certain circumstances we can use a power law (PL) to estimate the flux of the ionizing continuum of an AGN, a valid approximation if the continuum is synchrotron and non-thermal in nature. However, Malkan & Sargent (1982) showed that the optical-UV continuum is thermal due to the accretion disc. In general, the SED of AGN is more complex than a single power law specially for sources accreting above the accretion limit. This information in combination with the multidimensional space of spectroscopic, photometric, and kinematic parameters derived from the IFU analysis, allows for a more detailed analysis of the properties of AGN and their relation to their host galaxies.

A frequent method to identify active galaxies in the nearby Universe, uses diagnostic diagrams such as the BPT diagrams

¹Table SDSS17Pipe3D.v3.1.1.fits downloaded from <http://ifs.astroscu.una.mx/MaNGA/Pipe3D.v3.1.1/tables/>

(Baldwin et al. 1981; Kewley et al. 2006; Sánchez et al. 2018). They are useful to determine the origin of the photons which ionize the gas producing emission lines. The source of these ionizing photons could be an AGN radiation field, the formation of massive stars, or a mix of both, for which BPT diagrams successfully isolate them in well-confined regions. However, for luminous type-1 AGN (with bolometric luminosities $L_{\text{bol}} > 10^{45}$ erg), BPT diagrams fail to diagnose the AGN origin because the line ratios do not consider the presence of strong, broad emission components. In this case, the peak flux of $H\alpha$ and $H\beta$ narrow components (NCs; $H\alpha_{\text{NC}}$, $H\beta_{\text{NC}}$) show a larger value due to the contribution of the broad components. In many cases, the surrounding forbidden lines close to $H\alpha$ and $H\beta$ broad components (BCs; $H\alpha_{\text{BC}}$, $H\beta_{\text{BC}}$), namely $[\text{O III}]\lambda\lambda 4959, 5007$, $[\text{N II}]\lambda\lambda 6548, 6584$, and $[\text{S II}]\lambda\lambda 6716, 6731$, have a flux increment too due to the presence of the broad component of the Balmer lines. For the highest luminosity AGN, where the non-thermal nuclear emission dominates over that from the host galaxy (HG), the narrow components could be completely buried into the broad ones (e.g. the narrow line Seyfert 1 galaxies – NLSy1; Vanden Berk et al. 2001; Marziani et al. 2010). Hence, to isolate the NCs properly, it is necessary to make a good spectral line decomposition.

In terms of the broad line emitting region, the AGN unified model by Urry & Padovani (1995) proposes that the Broad Line Region (BLR) is hidden from our lines of sight by a molecular torus surrounding the accretion disc (AD). For small angles (towards an AD face-on), we can see the BLR directly and thus a type-1 AGN spectra, while for larger angles (towards an AD edge-on), the torus obscures the BLR showing only narrow lines, which is characteristic of type-2 AGN. In the latter case, the broad lines could be detected in polarized light (Tran 2010), although this is not the case for all type-2 AGNs (Tran, Lyke & Mader 2011).

Aside from the physical (presence of gas and dust) and geometrical reasons that may prevent the detection of the BLR, in practice, the spectra coming from the 3-arcsec SDSS observations or other observations using similar apertures contain a fraction of the host galaxy light. A most common procedure to remove that contribution is by using stellar population synthesis methods (e.g. Stern & Laor 2012). However, these procedures are model-dependent, yielding non-unique results with different contributions. The host galaxy fitting could be translated to degenerations on the pure AGN spectra. The residuals of the HG+PL subtraction could modify the spectral region close to the broad components. Given these difficulties, it would be desirable to have a method that allows for identifying broad emission lines in the observed spectra without making any a-priori assumption on both the host galaxy stellar and AGN contributions. In line with this idea, we present a method for identifying the broad $H\alpha$ emission line in the nuclear spectra of MaNGA galaxies that led us to the identification of a type-1 AGN sample.

3.1 Flux ratio method

We next outline a straightforward method that considers the estimate of flux ratios in two spectral regions around the expected position of the $H\alpha$ broad emission line. While one of the selected regions avoids any emission or absorption lines, the other two regions are selected close to the expected broad emission line. If a broad component is present, the evaluation of those flux ratios, should yield larger values than expected if $H\alpha_{\text{BC}}$ is absent. This method which is a variant of methods presented in Stern & Laor (2012), Oh et al. (2015), Liu et al. (2019) is optimized around the $H\alpha$ region line. It is applied to the integrated spectra from the central 3-arcsec aperture without

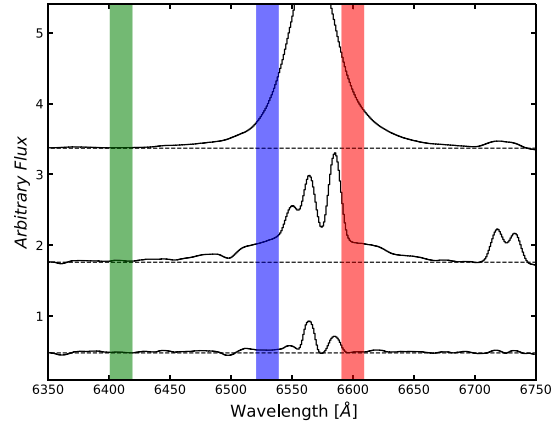


Figure 1. Three different spectra in $H\alpha$ region. The upper panel corresponds to the spectrum of a type-1 AGN, the intermediate panel to a Seyfert 1.9, and the lower panel to a galaxy without active nuclei. The bands illustrate the spectral regions and positions we adopt for the continuum (green) and the broad component (blue and red).

any host stellar subtraction and exploits the significantly higher S/N achieved from the MaNGA data.

The first step of our method is to extract the central 3 arcsec spectra of the 4636 MaNGA MPL-7 data cubes, with an aperture size similar to that of SDSS DR7 single aperture fibre. Since the size of each spaxel is 0.5×0.5 arcsec, the full aperture spans over 29 spaxels, allowing us to achieve significantly higher S/N values.

In contrast to previous works that use only one spectral region near $H\alpha$, we propose two flanking spectral regions to take into account the range of wavelengths and asymmetries of the $H\alpha$ broad emission line and the presence of stellar absorption lines. We define three spectral regions or bands that help us characterize the $H\alpha$ region. One adjacent region is selected such that no emission or absorption lines are present and where the continuum flux (F_C) is defined. Two additional regions were selected to flank $H\alpha$, defined as the blue and red (F_B and F_R) band fluxes measured at both sides of a region where the broad emission component is expected. To select the bands, the location of various absorption stellar lines as well as the widths of the narrow emission lines were taken into account. In type-1 AGN, the width of the narrow lines covers a range of full width at half-maximum (FWHM) from a few hundred km s^{-1} up to 1000 km s^{-1} while for the broad $H\alpha$ line, the FWHM could be as broad as 10000 km s^{-1} or more (Antonucci 1993). Regarding the stellar absorption lines, in the region around $H\alpha$, the deepest one is TiO at 6498 \AA (Bica & Alloin 1986). Considering the maximum FWHM value that the $[\text{N II}]\lambda\lambda 6548, 6584$ can have as upper limits, and avoiding the TiO stellar absorption at 6498 \AA , we define wavelength intervals of 20 \AA width, at

- (i) $6400\text{--}6420 \text{ \AA}$ for the continuum band (F_C)
- (ii) $6520\text{--}6540 \text{ \AA}$ for the blue band (F_B), and
- (iii) $6590\text{--}6610 \text{ \AA}$ for the red band (F_R)

The width was chosen similarly to Oh et al. (2015) because it permits us to get reliable values of flux for a given S/N ratio. Due to the position bands, the FWHM that we can detect is limited by $\text{FWHM}(H\alpha_{\text{BC}}) \gtrsim 1500 \text{ km s}^{-1}$, considering that the position of the blue band is 2σ ($\sim 33 \text{ \AA}$) away from the $H\alpha$ rest frame for a

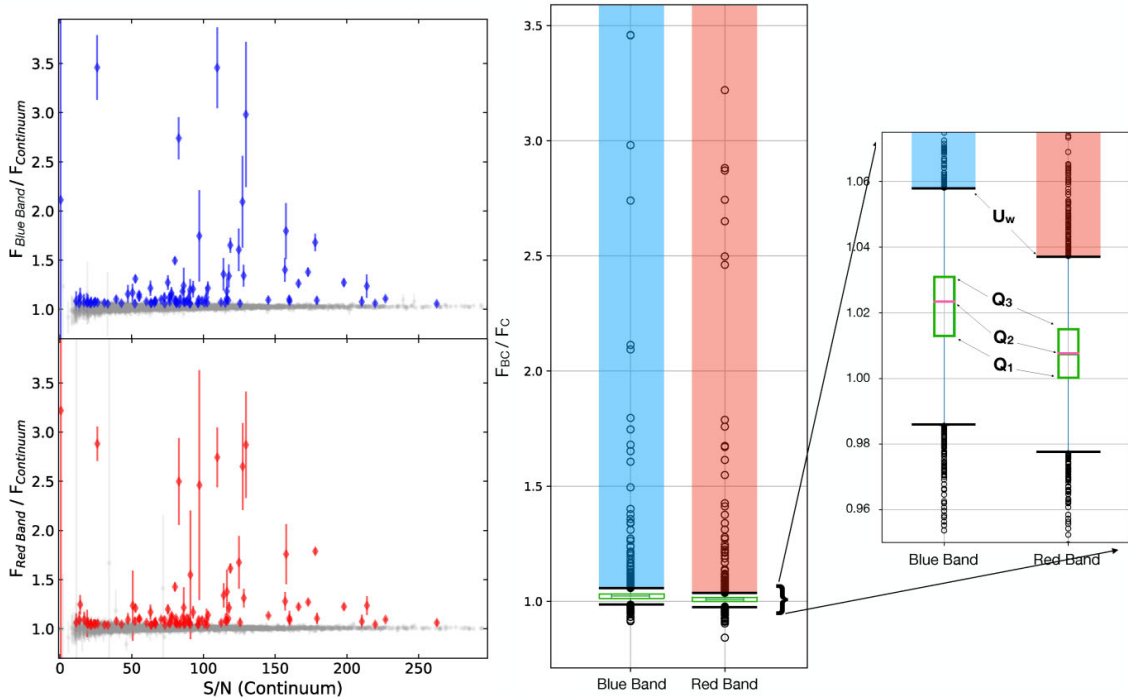


Figure 2. Left-hand panel: Flux ratio distribution compared with the continuum S/N at 6400–6420 Å. Coloured diamonds represent the upper outliers (~ 3.6 per cent red band, ~ 2.7 per cent blue band) while grey dots are the non-active galaxies, which flux ratio is around or lower than 1. Middle: Boxplots used for the selection of AGN. The outliers of each band are the black circles upside the upper whiskers (blue and red bands). Right-hand panel: Zoom-in of the quartiles region. The first and third quartiles are shown as green boxes, upper and lower whiskers as black lines. Below the upper limits live ~ 96 per cent and ~ 97 per cent of the MPL-7 sample in the red and blue bands, respectively (grey dots in the left-hand diagram).

Gaussian with the minimum FWHM, and 1690 km s^{-1} for the red band ($2\sigma \sim 37 \text{ \AA}$).

Fig. 1 shows three examples of spectra illustrating the location of the blue and red bands with respect to the broad $H\alpha$ line: a type-1 AGN (top), a Seyfert 1.9 (middle), and a galaxy without a broad line (bottom). The F_C band is shown in green, and F_B and F_R bands are shown in blue and red, respectively. Notice that F_C is located in a feature-less region, far enough of the $H\alpha$ broad component (to reach this continuum band, $H\alpha$ should have an FWHM $> 10\,000 \text{ km s}^{-1}$). On the other side, F_B and F_R bands are as close as possible to $H\alpha$ to detect the weakest broad components, if any. The location was selected outside the $[\text{NII}]\lambda\lambda 6548, 6584$ width set above to avoid flux contamination of this line.

The band fluxes were estimated using the task *splot* from IRAF (Tody 1986). The spectral flux was normalized along the entire observed range by fitting and subtracting a fifth-order spline function. In galaxies where the AGN power law is dominant, the normalization does not fit well around the $H\beta$ region. However, the slope around the $H\alpha$ region is not so steep (see e.g. Vanden Berk et al. 2001), so the fit with the spline function was enough to model it. The *splot* task returns values of the average flux and the RMS over each band and the S/N of the continuum region. With the flux values, we compute the ratios F_B/F_C and F_R/F_C , between the blue and red bands ($F_{B,R}$) over the continuum.

Left-hand panels of Fig. 2 show the values of the $F_{B,R}/F_C$ ratios in the red and blue bands as a function of the S/N. It can be seen that both flux ratios can be separated into two populations:

- (i) F_B/F_C and $F_R/F_C \sim 1$. A first population containing the great majority of the galaxies (grey dots) suggesting the absence of a broad $H\alpha$ line, and
- (ii) $F_B/F_C > 1$ and $F_R/F_C > 1$. A second population having higher values of F_B/F_C and F_R/F_C (blue and red dots) suggesting the possible presence of the $H\alpha$ broad line.

While objects in the first population are mainly composed of non-active galaxies and type-2 AGN, objects in the second population are proposed as our best candidates to show a broad $H\alpha$ line. The number of objects with values lower than 0.95 are 15 and 4 for the red and blue bands, respectively. In those spectra, we find star-forming galaxies with negative slopes and no broad $H\alpha$ line.

To separate both populations, we made use of a boxplot-whiskers diagram (Fig. 2, middle and right-hand panels). This statistical tool help us to visualize the distribution of the computed flux ratio values and to establish a quantitative criterion for the broad $H\alpha$ identification. While for the first population, the boxplot and their whiskers show mainly flux ratio values around 1, the candidate sample shows a much broader distribution of flux ratio values placed out of the box and beyond of the whiskers (black circles in middle and right-hand panels of Fig. 2). These outliers are our type-1 AGN candidates. To analyse the distribution of the flux ratio $F_{B,R}/F_C$ values, we developed a python code based on the *pandas* package (Wes McKinney 2010) to estimate the median, average, and the

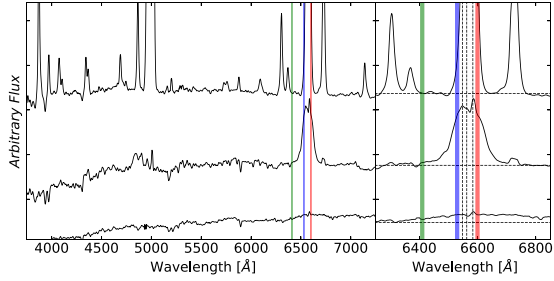


Figure 3. Three different spectra were found in the 93 candidates samples. The upper panel corresponds to the spectrum of a type-2 AGN, the intermediate panel to a type-1, and the lower panel to that of an M-type star. The left-hand panel shows the overall spectra, while the right-hand panel is a zoom-in to the H α alpha region.

quartiles² of the distribution, used to build the boxplots for each blue and red bands.

The green area in the middle panel of Fig. 2 (also shown in the zoom in the right-hand panel), is known as the box, which is delimited by the first (Q_1) and third quartiles (Q_3) (the 25 per cent and 75 per cent percentiles of the cumulative distribution of the sample, respectively). The median value of the distribution (or Q_2) lies within this area. The computed Q_3 values are 1.031 and 1.015 for the blue and red bands. For both blue and red distributions, the Q_3 value is near one, which means that in at least 75 per cent of the galaxies, we do not expect to find a broad H α component. However, among the remaining 25 per cent objects, we still have many galaxies that belong to the ‘non broad-line’ distribution. Then, we compute the upper whisker defined as $U_W = 1.5 \times IQR + Q_3$, where $IQR = (Q_3 - Q_1)$ is the interquartile range (for a symmetric distribution, $IQR = Q_2$, which is not our case). We will not consider the lower whisker since it has values near and below one, which indicates the absence of a broad-line feature. The U_W computed values are 1.037 and 1.056 for F_R and F_B , respectively. Finally, we will consider as type-1 AGN candidates those outliers objects that are beyond the upper whisker. Above the U_W limits, we found 171 outliers for F_R , and 126 for F_B (~ 4 per cent and ~ 3 per cent of the total sample). The first two columns of Table 1 resumes the values of the quartiles, the upper whisker, the mean, and the maximum values for each band.

The next step is to consider only the spectra with a broad-line feature that stands out over the H α region continuum. To do that, we select only the candidates cataloged as outliers in both boxplots, reducing the sample to 94 candidates (~ 2 per cent of the total sample). After considerably reducing the initial sample, it was possible to visually inspect the spectra to verify the presence of the broad emission line component. Examples of candidate spectra are shown in Fig. 3, where the left-hand panels show the overall spectra and the right-hand panels zoom in into the H α region. Two galaxies, 9031-12705 and 9036-6101, are the same object (same MaNGA-ID 1-210186), so it reduces the sample to 93 candidates. In addition, another 18 objects seem to show optical spectra resembling those of M-type stars (see for example fig. 8, bottom row of Oh et al. 2015). The right-hand lower panel in Fig. 3 shows an example spectra of such objects, where the shape of the stellar continuum resembles a faint broad line in the H α region. For our purposes, these types of objects were considered false positives.

²The flux ratio values at which 25, 50, and 75 per cent of the sample is contained.

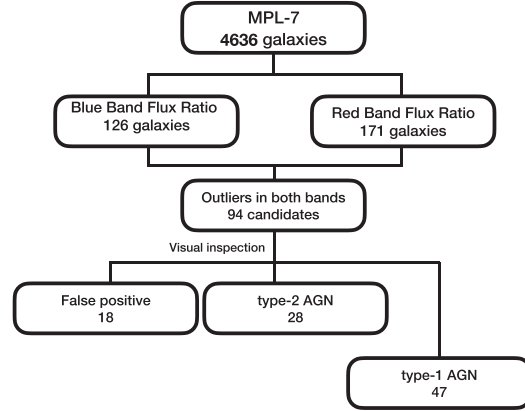


Figure 4. Summary of the methodology performed to find the type-1 AGN sample.

The remaining 75 candidates have broad and/or narrow emission lines. All of them were classified as AGN due to the strength and FWHM of the emission lines (according to the minimum width given by the bands position), consistent with having high $F_{B,R}/F_C$ values. In the visual inspection, we separated them into type-1 and 2 AGN. The upper panel in Fig. 3 illustrates a type-2 AGN spectrum showing only narrow emission lines (which were also found on the Seyfert region in the BPT diagrams, Section 3.3), while the middle panel shows a type-1 AGN spectrum, where the broad component stands out on the continuum. This final cut leaves us with 28 type-2 AGNs and 47 type-1 AGNs (1 per cent objects of the total sample). These 47 type-1 AGNs are considered our final sample. Fig. 4 summarizes the different steps followed in our methodology. Section 5.1 presents a detailed description of these objects.

Table 3 list our type-1 AGN sample and some of their global properties. Column 1 is the SDSS Object ID, Column 2 shows the plate-IFU of MaNGA, Columns 3 and 4 are the RA and DEC in epoch 2000.0, Column 5 is the g -band magnitude from SDSS, Columns 6 and 7 are the redshift and the stellar mass of the host galaxy, respectively, both from NASA-Sloan Atlas, Column 8 is the optical luminosity of the [O III] emission line, extracted from Pipe3D, Column 9 is the estimated luminosity of the H α broad component extracted from our emission lines fitting (results will be published in a forthcoming paper), and Column 10 is the empirical classification of the AGN described in Section 5.1.

The fraction of type-1 AGN found with our method (1 per cent) in the MaNGA DR15 sample is consistent with the expected fraction of high-ionization AGN (type-1 and 2) among local galaxies (2 per cent to 10 per cent), given a redshift and SMBH mass galaxy range (e.g. Huchra & Burg 1992; Ho, Filippenko & Sargent 1997; Netzer 2013, and references therein). In turn, the type-1 AGN fraction is around 10 per cent of the total AGN population. This is also consistent with the results of Stern & Laor (2012) and Oh et al. (2015), which report type-1 AGN fractions of about 1 per cent from their initial samples.

3.1.1 Rejected candidates

We also visually inspected all the rejected candidate objects appearing in only one band flux ratio (33 and 78 for the red and blue boxplots). The reason is that the BLR line profiles may show a broad component displaced with respect to the restframe due to wind-

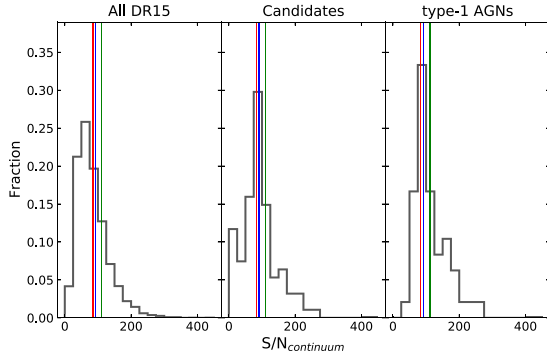


Figure 5. Histograms of the S/N of F_C for the DR15 samples. Each panel shows the distribution of S/N for all DR15 sample (left-hand panel), the candidates’ sample (middle), and the type-1 AGN sample (right-hand panel). The vertical lines indicate the average S/N for the respective sample: red for all DR15, blue for the candidates, and green for the type-1 AGN. The median S/N increases towards the type-1 AGN sample.

driven outflows or particular kinematics of this region (e.g. fig. 9.8 of Netzer 2013). However, our results indicate that all these rejected candidates could be classified as type-2 AGN or objects with M-type stellar spectra. We also found galaxies with more than one narrow emission line that could be related to multiple star-forming regions. All these objects were discarded from our final sample since we selected only the outliers in both boxplots.

3.1.2 The role of the S/N in the flux ratio method

An advantage of our method is the high S/N of the integrated spectra associated with our final sample. On average, the F_C S/N computed for the MPL-7 spectra is 84, increasing to 92 for the 93 candidates and to around 112 for our 47 type-1 AGN (Table 2, and Fig. 5).

Looking at the distribution of the S/N in the complete sample, we have 4206 spectra with $S/N < 150$ and 430 with $S/N > 150$. An estimate of the fraction of type-1 AGN objects in the range $S/N < 150$ is 0.9 per cent, a lower value than 2.6 per cent corresponding to that in the range $S/N > 150$, so this is not an apparent decrease of AGN candidates as the S/N ratio increases but instead, a decrease in the number of galaxies as the S/N ratio is increasing. In the particular case of our type-1 AGN sample, 12 galaxies have $S/N > 150$, however, the averages flux ratios and redshift are not different from the galaxies with $S/N < 150$. The increase of the S/N is expected because the contribution of the nuclear luminosity is higher for the active galaxies with respect to quiescent ones. The high S/N achieved in the integrated central 3 arcsec MaNGA spectra is useful to avoid spurious contamination in the red and blue bands when searching for the broad line component. Equally important, it allows us to identify $H\alpha$ broad line component by a direct inspection of the observed spectra, without the need of a host stellar component subtraction. In the next section, we carry out a first-order host galaxy subtraction to the spectra and compare the results obtained before and after host subtraction in order to test the robustness of these conclusions.

3.2 Host galaxy subtraction proof

Previous authors like Stern & Laor (2012) and Oh et al. (2015) have shown that when considering spectra from the SDSS survey, the fiducial 3 arcsec aperture may contain a significant contribution

from the host galaxy. Their work suggests that it is needed to remove that contribution to identifying the broad emission line component in low-luminosity AGN. However, with our present method, after synthesizing the MaNGA spectra in a similar 3 arcsec aperture, we could proceed with identifying the broad component, including the stellar contribution of the host galaxy. Thus, it is important to test our results and estimate the influence of the stellar contribution in our identification method.

To take the stellar contribution into account, we apply a first-order stellar subtraction using *starlight* (STL; Cid Fernandes et al. 2005). *Starlight* is a programme that uses stellar population synthesis: an observed spectrum is decomposed in terms of a superposition of stellar populations of various ages and metallicities to model the underlying stellar galaxy continuum. The spectral base used consists of 150 simple stellar populations, with six metallicities and 25 different ages (using the Bruzual & Charlot 2003, libraries). To consider the AGN contribution, we added 6 power laws of the form $f_\nu = \nu^{-\alpha}$ within the range of $0.5 < \alpha < 3.0$, to model the AGN continuum (if present). The result is a decomposition in a synthetic stellar model, a power-law contribution, and the emission line spectra after subtracting the original and the stellar model, including the resulting power-law contribution. In cases with strong or dominant AGN emission, the STL model could not converge to an appropriate solution. In a forthcoming paper of this series, the problem of decoupling the power-law + host galaxy contributions in the AGN spectra will be addressed from the point of view of two independent methods (Cortes-Suarez et al., in preparation).

The flux ratio method and the statistical analysis described in Section 3.1 were similarly applied to the resulting emission line spectra + power-law contribution after subtracting the stellar contribution to the whole DR15 sample. The middle columns in Table 1 report the boxplot numbers computed as described in the previous section. The upper whisker values are $U_{W, STL}$, of 1.028 and 1.016 for F_R and F_B , respectively. The new $U_{W, STL}$ values are slightly lower compared to the ones originally estimated from the observed spectra. A plausible reason for this is that in the absence of the stellar component, the continuum flattens, so the flux ratios are closer to unity. We found 298 and 143 galaxies for the F_R/F_C and F_B/F_C ratios, above $U_{W, STL}$. Proceeding similarly and matching the results of our red and blue object selection, we identified 93 candidates. Even when the resulting number of candidates is the same as in Section 3.1, 20 of them are different objects. After a visual inspection, ten false-positive were detected (a lower quantity than without the stellar subtraction), and 83 candidates showing narrow or broad emission lines were identified. Looking for type-1 AGN, the same objects were recovered as in the case of no stellar contribution subtraction except one, 1-71872. This object was found above the upper limit only in F_R/F_C ratio. Its F_B/F_C ratio lies just below the limit, 1.015.

Comparing the results of the type-1 AGN identification before and after subtracting the host stellar contribution, we do not find an effect of the stellar subtraction in the selection method. It seems that for the MaNGA sample, with an average S/N of 84 (see Table 2), we obtain comparable results. Under these conditions it may not be necessary to subtract the stellar component in the target spectra. We also find that the stellar subtraction is useful to reduce the number of false positives and increase the quantity of type-2 AGN (we found 37 in this sample), although one of our type-1 AGN is missed. Summarizing, given a set of spectra having significantly high S/N ratios, our direct identification method appears enough for the recognition of broad emission line AGN in the MaNGA survey, avoiding the introduction of possible degenerations when considering the stellar subtraction.

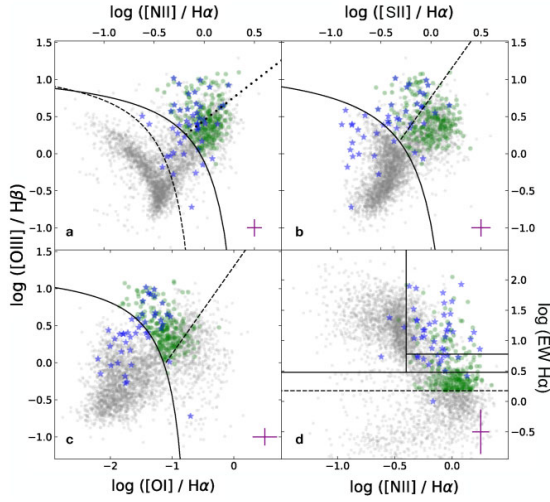


Figure 6. BPT and WHAN diagrams of the MPL-7 sample. Data were obtained from the Pipe3D VAC Type-1 AGN detected using the line ratio method are shown in blue stars, while type-2 AGN are shown in green stars. The WHAN diagram is shown at the bottom-right with the $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$ threshold as a dashed line. Error bars are shown as purple crosses.

In Appendix A we report our identification of type-2 AGN candidates and of objects showing M type spectra. Although our method is focused on the detection of broad emission lines, it allowed for the identification of 28 type-2 AGNs (12 per cent of the candidates) when no subtraction is considered and of 37 (16 per cent) after subtraction of the stellar component. This sample of type-2 AGN shows some particular characteristics in their associated spectra like strong narrow emission lines with FWHM high enough to reach the blue or red bands, and narrow emission lines profiles that seem to be Lorentzian (or double Gaussian).

3.3 Selection based on BPT and WHAN diagrams

We have built the non-resolved BPT diagrams (Baldwin et al. 1981) using the VAC generated through the Pipe3D pipeline (Sánchez et al. 2016) for the central 2.5 arcsec integrated spectra of the MaNGA DR15 sample.³ Although these routines are mainly optimized for the identification of narrow lines, they also use an approximation for the identification of broad emission lines. We decided to use the Pipe3D VAC to compare our results with other works discussed in Section 4. For the AGN identification we follow the criteria outlined in Sánchez et al. (2018), by considering galaxies located above the Kewley et al. (2001) line in the three independent BPT diagrams, and having $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$ (panels (a) to (c) of Fig. 6). The Kewley et al. (2006), Kauffmann et al. (2003), and Schawinski et al. (2007) demarcation lines are also shown in these diagrams.

We found 242 AGN candidates (~ 5 per cent of the total sample), marked with green starry symbols in Fig. 6. Of them, three galaxies have more than one datacube in common J110431.08+423721.2: 8256-12704, 8274-12704, 8451-12701 (MaNGA-ID 1-558912); J155953.98+444232.4: 9036-2703, 9031-

³The PIPE3D VAC were obtained using integrated spectra of the spaxels contained in the central 2.5 arcsec, 1 effective radius, and all the field of view.

3704 (MaNGA ID 1-209772); and J160436.23+435247.3: 9031-12705, 9036-6101 (MaNGA-ID 1-210186). A cross-match of these results with our type-1 AGN sample (blue stars in Fig. 6) let us find 16 matches. The low type-1 AGN detection means that applying standard stellar population synthesis and placing the results in BPT diagrams even with additional restrictions on the $\text{EW}(\text{H}\alpha)$ values, 66 per cent of the already identified type-1 AGN were missed. A characteristic in common in these 31 missed objects is that the narrow component of the Balmer lines is stronger than the other narrow lines explaining their location in the composite and star forming region of the BPT diagrams. We also noticed that narrow emission lines are partially or entirely embedded into the $\text{H}\alpha$ broad component in some galaxies, something that was not considered in the Pipe3D emission line fitting procedures, and consequently, the emission of the narrow emission lines are being underestimated or lost. In this way, the [N II] diagram show 46 of 47 type-1 AGN, the [O I] diagram 45 AGN, and the [S II] diagram 44 AGN. So it is important to note that these diagrams do not detect the spectra dominated by the AGN emission.

The remaining candidates were considered as type-2 AGNs since they only show narrow emission lines. Combining the candidates emerging in the BPT diagrams with those from the flux ratio method (including the type-2 AGN), we identified 283 AGN: 47 type-1, and 236 type-2. Imposing $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 3 \text{ \AA}$ to avoid ionization processes due to post-AGB stars or shocks (Cid Fernandes et al. 2010), the sample amounts to 125 AGNs: 45 type-1, and 80 type-2. Other works (e.g. Cano-Díaz et al. 2016; Lacerna et al. 2020) consider values of $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 6 \text{ \AA}$ to assure that the dominant ionization process comes from non-stellar nuclear activity. With this restriction, we find 77 AGNs: 33 type-1 and 44 type-2. Since more restrictive $\text{EW}(\text{H}\alpha)$ conditions translate into a loss of broad emission line AGN candidates, we adopt $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$.

Panel (d) of Fig. 6 shows the AGN sample in the WHAN diagram ($\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha)$ versus $\text{EW}(\text{H}\alpha)$, Cid Fernandes et al. 2011). AGNs are identified if $\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) > -0.4$ and $\text{EW}(\text{H}\alpha)$ is between 3 and 6 \AA for weak AGN, and larger than 6 \AA for strong AGN (solid lines). The $\text{EW}(\text{H}\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$ threshold is the dashed line. Although all the candidates in the BPT diagrams are above the Kewley line (green stars), in the WHAN diagram, most of them have $\text{EW}(\text{H}\alpha)$ less than 3 \AA , which suggests that ionization processes could not be associated only with the AGN (Cid Fernandes et al. 2011). It is important to note that this diagram is able to detect most of our already identified broad-line AGN: 11 in the weak AGN region and 31 in the strong AGN region, missing only 5 (11 per cent) of them. Two of them have $\text{EW}(\text{H}\alpha) < 3$ because the narrow component is entirely embedded on to the broad one. The other three are located in the SF region due to the intensity of the $\text{H}\alpha$ narrow component.

BPT diagnostic diagrams based on narrow emission lines, although useful, can identify only 34 per cent of our type-1 AGN sample. Interestingly, the WHAN diagram recovers a higher (89 per cent) fraction, despite not being optimized for detecting the broad components, suggesting that this method could be helpful in their identification.

4 COMPARISON WITH OTHER CATALOGUES

Although BPT and WHAN diagrams are helpful to detect AGN in large optical surveys, they identify type-2 AGN principally. Another way to identify them is by cross matching with AGN catalogues at wavelengths such as X-rays, infrared (IR), or radio, where they can also be detected (e.g. Coffey et al. 2019; Comerford et al. 2020). In this section, we compare the results of our selection method for broad-line AGN with previous works that also identify not only type-

1 but also type-2 AGN. We mainly consider works based on spectral data from the SDSS DR7 and the MaNGA survey.

4.1 SDSS DR7 AGN catalogues

Stern & Laor (2012), Oh et al. (2015), and Liu et al. (2019) (hereafter SL12, Oh15, and Liu19, respectively) carried out a systematic search of type-1 AGN, based on the detection of broad $H\alpha$ emission using data coming from the SDSS DR7 database (Abazajian et al. 2009). The results of these works have provided substantial numbers of newly discovered type-1 AGN in the local Universe setting the basis for a more robust statistical analysis to test and constrain the physical properties of the BLR and the AGN kinematics.

SL12 searched for the $H\alpha$ broad emission line in the SDSS DR7 spectroscopic data, restricting the redshift range to $0.005 > z > 0.31$ (232 837 objects). They subtracted the host galaxy contribution using a galaxy eigenspectra derived from a PCA of SDSS galaxies (Yip et al. 2004), with a power-law component ($L_\lambda \propto \lambda^{-1.5}$) representing the AGN continuum, to derive a featureless continuum. Then, they interpolated a local continuum around $H\alpha$ to fit and subtract the narrow emission lines. The residual flux (ΔF) around $H\alpha$ was summed to look for a broad component. They considered a broad line candidate if the ratio of the residual flux over the dispersion $\Delta F / \sigma > 2.5$ (3 per cent of the initial sample). For those objects, they fitted high-order Gauss–Hermite functions for the broad $H\alpha$ profile. They considered broad-line AGN candidates those objects with a line width $\Delta v > 1000 \text{ km s}^{-1}$, and after a visual inspection, their final sample of candidates consists of 1.5 per cent of the initial sample (3579 objects).

Liu19 looked for AGN in 866 302 objects catalogued as ‘galaxies’ or ‘quasars’ in the SDSS DR7 at $z < 0.35$. Using the EL-ICA algorithm (Lu et al. 2006), which considers the library of simple stellar population of Bruzual & Charlot (2003), they decompose the spectra into stellar and non-stellar nuclear components. Then, they fitted the narrow and broad lines in the $H\alpha$ and $H\beta$ regions, including the Fe II multiplets and the AGN continuum. Their broad-line selection criteria is based on: (i) $H\alpha_{\text{BC}}$ flux above $10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, (ii) $S/N(H\alpha_{\text{BC}}) \geq 5$, (iii) the height of the best fit of the $H\alpha_{\text{BC}}$ above 2 RMS of the spectrum with no stellar contribution, measured in a region free of emission lines near $H\alpha$, and (iv) FWHM of the broad component higher than the FWHM of the narrow line. They find 14 584 sources that meet those criteria, amounting to the biggest type-1 AGN catalogue of SDSS DR7.

Oh15 looked for type-1 AGN in galaxies with $z < 0.2$ also using spectroscopic data from the SDSS DR7 data base (664 187 galaxies). $H\alpha_{\text{BC}}$ was identified by computing a ratio between the mean fluxes at 6460–6480 Å, defined as a pseudocontinuum interval, and 6523–6543 Å to highlight the $H\alpha_{\text{BC}}$. Considering a threshold of 1σ , they selected 17 per cent of the objects as type-1 AGN candidates, for which they simultaneously fit the stellar continuum and the emission lines. They selected objects with an $\text{FWHM}(H\alpha_{\text{BC}}) > 800 \text{ km s}^{-1}$, and an amplitude-over-noise ratio (A/N) of $H\alpha_{\text{BC}}$ larger than 3 (8.6 per cent of the 1σ demarcation). Then they measured the total flux of the $H\alpha$ broad component at the red side of $[\text{N II}]\lambda 6584$ and the averaged dispersion of the continuum in four specific windows between 4500 Å and 7000 Å, considering as candidates those with total fluxes two times greater than the continuum dispersion. Their final sample consists of 5553 sources (0.8 per cent of the initial sample).

In spite that our method is based on flux ratios, it departs from Oh15 method in three important aspects:

- (i) New appropriate spectral windows for the continuum and blue bands.
- (ii) The introduction of the red band.
- (iii) The avoiding of the stellar subtraction and line fitting.

Band positions. The methodology of Oh15 did not successfully detect spectra with multiple or very broad $H\alpha$ components, which overlap emission lines from $[\text{O I}]\lambda 6364$ to $[\text{S II}]\lambda 6716$, as shown in their fig. 8. An example of a multiple component broad emission line AGN, that extends up to 6450 Å is J075244.19+455657.4 (Fig. B2). Another example can be seen in fig. A.3 of Lacerna et al. (2016). For this reason, our continuum band is shifted 60 Å to the blue with respect to Oh15, maintaining the same range width.

Red band. Besides the identification based on the estimate of a flux ratio and conditions on A/N and FWHM, Oh15 carried out a spectral fitting and decomposition to estimate the properties of the broad $H\alpha$ line. Based on that, they could compare the area of the broad $H\alpha$ component beyond $[\text{N II}]\lambda 6584$ as an alternative measure to FWHM for the broad $H\alpha$ line, thus generating an additional condition for the identification of type-1 AGN. In contrast, we took advantage of the higher S/N in our integrated spectra. The introduction of the red band in our identification criterion is a good alternative to track the extent of the $H\alpha_{\text{BC}}$. Thus, there is no need to invoke a fitting of the broad and/or narrow components in our direct method.

Stellar subtraction. Modelling the stellar component and subsequent subtraction in the observed spectra of galaxies is fraught with difficulties. In the case of galaxies hosting AGN, there is no unique solution representing the host galaxy and the power-law contributions. Furthermore, in powerful or dominant AGN cases, the stellar fitting and subtraction may be non-sense due to the lack of stellar absorption lines. For these reasons, and because the flux ratio selection process using the boxplot-whiskers statistical method allows us to recover all type-1 AGNs, we decided to implement a direct method on the observed spectra without stellar subtraction.

4.1.1 SDSS DR7 Type-1 AGN detections

After a cross-match with the full MaNGA DR15 sample, we find 44 galaxies in common with Liu19 (35 type-1 AGN), 34 in common with Oh15 (28 type-1 AGN), and also 34 in common with SL12 (29 type-1 AGN), with 23 type-1 AGN in common among the four samples (~49 per cent). The distribution and coincidences are illustrated in the Venn Diagram of Fig. 7. A large number of coincidences were found despite the differences between each method.

Objects that are not in our sample were inspected visually, identifying some changing-look AGN. In Appendix B we report a list of changing-look candidates in the MaNGA galaxies. We started a follow up and the results will be reported in a forthcoming paper.

Fig. 8 shows the $\text{FWHM}(H\alpha_{\text{BC}}) - L(H\alpha_{\text{BC}})$ luminosity relation and their corresponding distributions for the $H\alpha_{\text{BC}}$ for our type-1 AGN sample (black lines) and for the SL12 (red lines), Oh15 (green lines), and Liu19 (blue lines) samples. We compute both quantities for our 47 object sample after carefully subtracting the host galaxy contribution and fitting the emission lines plus the power-law contribution (Cortes-Suárez et al., in preparation). The green dashed line shows the 90 per cent completeness limit for the identification of broad emission line AGN proposed by Oh15 (see their fig. 4). As already emphasized by Oh15 below this threshold, it is possible to find low-luminosity type-1 AGN, and in fact, we find 17 objects below that limit. The lowest luminosity value found is $\log L(H\alpha_{\text{BC}}) \sim 39.69$ in an interval of $\log \text{FWHM} \sim 3.0 - 4.0$, with a median of 3.65. As a comparison, the type-1 AGN sample of SL12 has a

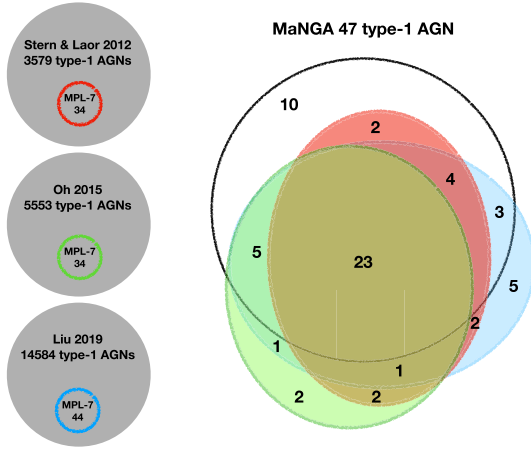


Figure 7. Venn diagram of the MPL-7 cross-matched samples with our type-1 AGN sample (black circle). The red circle is the *SL12* sample, green circle the *Oh15* sample, and blue circle the *Liu19* sample. The objects outside our type-1 AGN sample are in our type-2 AGN catalogue (see Section 3.3). Three objects in the *Liu19* sample do not have classification.

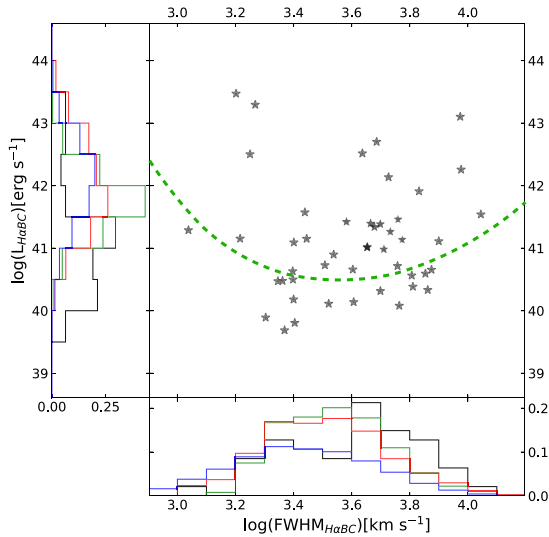


Figure 8. The FWHM and luminosity of the $H\alpha$ broad component for our type-1 AGNs. The axes are shown as histograms to see the distribution of both values (black lines). We also include the distributions of *SL12* (red lines), *Oh15* (green lines), and *Liu19* (blue lines). The green dashed line is the demarcation line of Oh et al. (2015) that uses to select their type-1 AGN sample.

luminosity interval of $\log L(H\alpha_{BC}) \sim 40\text{--}44$ that peaks at 41.75. In contrast, our sample extends to lower values with a median value of $L(H\alpha_{BC}) \sim 41.03$, being in fact dominated by low luminosity AGN (77 per cent have $\log L(H\alpha_{BC}) < 41.5$). In the case of the *Liu19* sample, their $\log L(H\alpha_{BC})$ has values in the interval 38.5–44.3 with a median value near 42.

The lower luminosity values reported by *Liu19* are associated with low-luminosity AGN (located below the selection curve of Oh

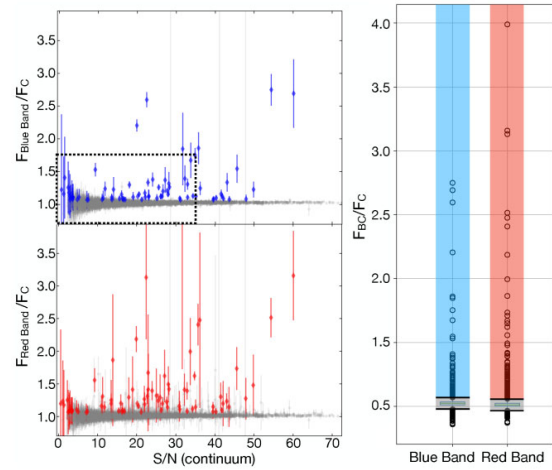


Figure 9. Left-hand panel: Flux ratio distribution as shown in Fig. 2 but using the DR7-SDSS spectra. Black box in top figure illustrate the area of the fig. 1 of Oh et al. (2015). Right-hand panel: Boxplots used for the AGN selection. Outliers found were 108 and 245 for the blue and red bands, respectively. From them, 76 were classified as AGN candidates.

et al. 2015) and correspond to $\text{FWHM } H\alpha_{BC} \sim 500 \text{ km s}^{-1}$. In contrast, due to the position bands of our method, the FWHM that we can detect is limited by $\text{FWHM}(H\alpha_{BC}) \gtrsim 1600 \text{ km s}^{-1}$ in average (Section 3.1), i.e. we identify candidates only with a broad visible component, which is the definition of type-1 AGN in the optical range. When cross matching our objects with the *Liu19* sample, we lose 3 of 44 galaxies. However, in a visual inspection we do not detect a visible broad component. The remaining 35 objects are in our type-1 catalogue or were classified as type-2 AGN. This could suggest that our flux ratio method is able to recover these low-luminosity AGNs, as long as they have a visible broad component.

4.1.2 Flux ratio method applied in the SDSS DR7

We further applied our direct flux ratio method to the SDSS DR7 spectra that matched the actual DR15 MaNGA sample, finding 4300 MaNGA objects in common. Fig. 9 shows the resulting distribution of the flux ratios F_R/F_C and F_B/F_C versus the S/N in the continuum (left-hand panels), and the boxplot (right-hand panel) for these objects. The more scattered distribution with respect to Fig. 2, is possibly due to a lower S/N of the DR7 data compared to our sample data. Despite using a similar aperture (3 arcsec), we got lower S/N values, with a fraction of 2.8 per cent objects having a S/N lower than 10 (Fig. 5), in comparison with a fraction of only 0.2 per cent objects for the MaNGA sample.

For that reason, the upper whisker limits $U_{W,DR7}$ increased to 1.059 and 1.069 for red and blue bands, respectively, compared to the MaNGA values (last two columns of Table 1). Repeating our procedures and considering again only the superior outliers in both bands (108 blue and 245 red, Fig. 9), 76 candidates were identified, including all the *SL12* and *Oh15* AGN candidates and 88 per cent of the *Liu19* sample. From those candidates, 39 galaxies match our sample of 47 MaNGA type-1 AGNs. Among the eight missing objects, two have no DR7 spectra. Two more do not show a broad emission line in the DR7 spectra but, contrary to those reported in

Table 1. Boxplot values obtained in the blue band (BB) and red band (RB) for each sample studied in this work, the observed spectra from MaNGA, starlight spectra after subtracting the host galaxy contribution to the MaNGA sample, and the DR7 Spectra from the SDSS survey.

Value	Observed spectra		Starlight spectra		DR7 spectra	
	BB	RB	BB	RB	BB	RB
Q_1	1.014	1.000	0.999	1.004	1.012	1.001
Q_2	1.023	1.007	1.002	1.008	1.025	1.012
Q_3	1.031	1.015	1.005	1.013	1.035	1.024
U_w	1.056	1.037	1.028	1.016	1.069	1.059
Mean	1.026	1.012	1.004	1.013	1.026	1.021
Max	3.459	3.220	2.267	2.344	2.749	3.989

Appendix B, they do in the MaNGA spectra. The other four objects were lost because the upper whisker limits increased and the broad $H\alpha$ component in these objects is weak.

Finally, we further found five objects having a broad emission line in the DR7 spectra but that were not reported in SL12, Oh15, and Liu19 catalogues. In the case of Liu19 work, the missing candidates correspond to one of our eight type-1 AGNs not found with our method, and one type-2 AGN. Other three objects are not in our catalogue because they show a type-2 AGN profile. 15 objects were identified as false positives (~ 19 per cent of the candidates).

Table 2 summarizes the number of objects obtained for the MaNGA observed spectra, the spectra after subtracting the host galaxy with starlight, and for the SDSS DR7 spectra. Column 2 is the size of each sample. Columns 3 and 4 are the number of outliers above each U_w , blue and red. Column 5 shows the number of candidates above both U_w . Column 6 gives the number of false positives, and Column 7 reports the fraction of type-1 AGN recovered from our final sample. The last three columns show the average S/N for all the galaxies (Column 8), the candidates (Column 9), and the type-1 AGN (Column 10).

The difference of the S/N between the MaNGA extracted spectra, and the SDSS DR7 sample (Col. 9 of Table 2) is that the latter uses a single aperture while we integrated over several spaxels. As we mentioned above, the sum of spaxels helps us to increase the S/N. The decrease of the S/N increases the value of the U_w . This anticorrelation is due to the fact that, when the noise increases, the flux ratio with values close to one increases as well, since the noise dilutes the weak broad components. However, we have shown that, although the values of $U_{w,B\&R}$ depend on the S/N of the sample, our method can find more type 1 AGN in nearby galaxies than other methods, following fewer steps.

In the next section, we compare our type-1 sample with the ones obtained with different methodologies using the MaNGA data.

Table 2. Summary of the boxplot results applied in the observed spectra (MaNGA observed sample), after subtracting the HG (MaNGA starlight sample) and SDSS DR7 spectra. The second column is the size of each sample. The third and four columns are the outliers above each U_w while the fifth column shows the candidates that are above both U_w . The sixth column is the number of false positives and the seventh the percentage of type-1 AGN found. The last three columns show the F_C S/N average for the full sample, the candidates sample, and for the type-1 AGN sample.

Sample	N	$U_{w,B}$	Number of objects			False positive	Type-1 AGN	S/N (full)	Average S/N	
			$U_{w,R}$	$U_{w,B\&R}$ (candidates)	S/N (candidates)				S/N (type-1 AGN)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
MaNGA observed	4636	126	171	93	18	100 per cent	84	92	112	
MaNGA starlight	4628	143	298	93	10	98 per cent	–	–	–	
SDSS DR7	4300	108	245	76	15	83 per cent	51	46	61	

4.2 AGN catalogues in MaNGA

We next make a non-extensive review of some works that have tried the identification of type-1 and 2 AGNs within the MaNGA survey, paying particular attention to their methods and results to look for differences and coincidences with our method and final sample.

Rembold et al. (2017) used the MPL-5 data sample and cross-matched it with the SDSS DR12 (Alam et al. 2015) to obtain line fluxes and equivalent widths of $H\beta$, $H\alpha$, $[O\text{III}]\lambda 5007$, and $[N\text{II}]\lambda 6584$ of the integrated nuclear spectrum (Thomas et al. 2016). Then, they built the $[N\text{II}]$ BPT and the WHAN diagrams considering as AGN candidates those galaxies located simultaneously in the Seyfert or LINER region of both diagrams. They found 62 objects fulfilling this criterion but did not make a distinction between type-1 or 2 AGN.

Of the 47 type-1 and 236 type-2 AGN found in the MPL-7 (Section 3), 23 type-1 and 132 type-2 objects were found in the MPL-5 sample. Of them, 5 type-1 and 32 type-2 AGNs were found in the Rembold et al. (2017) AGN list. Applying the criteria of the BPT and WHAN diagrams of Fig. 6, we can identify 14 type-1 AGNs. It is worth mentioning that the same aspects that affect the AGN identification described above needs to be considered. These are the difference of observational epoch between MaNGA and previous SDSS observations, the re-reduction of the DR12 data (Section 1), and that the BPT diagrams do not consider the BEL contribution for the strongest AGN emitters. Although the results may be different depending on the pipeline used, in this case, Pipe3D helped us to recover a higher AGN fraction, despite its gross approximation for the identification of type-1 AGN.

Sánchez et al. (2018) processed the data in the MPL-5 sample adopting the GSD156 library of stellar populations (Cid Fernandes et al. 2013) using Pipe3D. Then they extracted the spectra of the central region (3 arcsec of diameter) of the MaNGA galaxies to look for AGN using the three BPT diagrams. They imposed two criteria, an emission line ratio above the Kewley demarcation line in the three diagnostic diagrams, and a conservative criterion for the $EW(H\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$ to include the weakest AGN. Their final AGN sample consists of 97 type-1 and type-2 objects. They tried to isolate the type-1 objects by fitting narrow Gaussians for $H\alpha$ and $[N\text{II}]\lambda\lambda 6548, 6584$ (with an FWHM $< 250 \text{ km s}^{-1}$), plus an additional broad component for $H\alpha$ ($1000 < \text{FWHM} < 10\,000 \text{ km s}^{-1}$). However, they did not consider the power-law contribution of the AGN emission. They obtained 36 type-1 AGN candidates, of which 10 objects coincides with our sample (21 per cent). The remaining 26 objects were identified as false positives as they do not show any broad component in the visual inspection. This result is somewhat expected, as the method applied is not optimized to detect broad components. As described in Section 3.3, Pipe3D does not consider the contribution of the AGN power law nor that the narrow

components are immersed in the broad components of the Balmer lines.

Another AGN sample gathered from the MaNGA survey is that of Wylezalek et al. (2018, 2020), who also worked on the MPL-5. Unlike this work and others like Rembold et al. (2017) and Sánchez et al. (2018), they looked for the AGN signatures considering the entire IFS spectral data cube. They used data from the MaNGA Data Analysis Pipeline (DAP; Yan et al. 2016b; Westfall et al. 2019) to generate spatially resolved (spaxel by spaxel) [N II] and [S II] BPT diagrams for each galaxy. Their AGN candidates were selected for having a fraction larger than 10 per cent or 15 per cent of the spaxels in the [N II] and [S II] BPT diagrams. Then they imposed various conditions; (1) spaxels having $S/N > 5$, to avoid those on which the Pipeline failed to reconstruct the spectra; (2) $EW(H\alpha) > 5 \text{ \AA}$; (3) a distance connecting the spaxel measurement and the star formation demarcation line in the [SII] BPT diagram lower than 0.3, and (4) the $H\alpha$ surface brightness $SB(H\alpha) > 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1} \text{ kpc}^{-2}$, in the spaxels selected with the above criteria, as a tracer for diffuse ionized gas. They identified 308 AGN candidates.

Wylezalek et al. (2018) also compared the MaNGA observations with the SDSS single fibre spectra from different epochs, detecting AGN candidates that single nuclear spectra methods could not, especially galaxies that may have recently turned their nuclear activity off, or AGN emission-like regions overshadowed by contamination from diffuse ionized gas, extraplanar gas, and photoionized by hot stars. To identify the type-1 AGN they cross-matched the MaNGA MPL-5 sample with the catalogue from Oh et al. (2015) finding 67 coincidences. Of these 67 objects, 12 are in our sample, which were catalogued by Wylezalek et al. (2020) as Seyfert (8 galaxies), star forming galaxies (3 objects), and LINER (1 object).

More recently, Comerford et al. (2020) have compiled a catalogue of type-1 and 2 AGN using the MaNGA MPL-8 survey (6261 galaxies). To identify them, they used various criteria based in different wavelengths. (1) Mid-infrared *WISE* colours. They used the Assef et al. (2015) criteria considering $W1$ ($3.4 \mu\text{m}$) and $W2$ ($4.6 \mu\text{m}$) colours, finding 67 AGNs. (2) *Swift* observatory's Burst Alert Telescope (*Swift*/BAT) of ultra hard X-ray detections (14–195 keV). They used the Oh et al. (2018) AGN catalogue, which is based on the cross-match of the 105-month BAT catalogue and the SDSS DR12 (Alam et al. 2015), finding 17 matches. (3) NVSS (Condon et al. 1998) and FIRST (Becker et al. 1995) radio observations at 1.4 GHz. They cross match the MaNGA objects with the Best & Heckman (2012) AGN radio catalogue, based on the NVSS and FIRST detections of the SDSS DR7 galaxies. They found 325 radio AGN in MaNGA, catalogued as high-excitation radio galaxies (HERGs 3 objects), low-excitation radio galaxies (LERGs 143 objects), and no classification (260 objects). (4) Broad emission lines in SDSS spectra. To look for type-1 AGN, they cross-matched the MPL-8 sample with the Oh et al. (2015) catalogue, founding 55 broad-line objects. In total, they present a sample of 406 AGNs; of them, 309 (76 per cent) were detected by their radio emission.

A cross-match with our type-1 AGN sample, yields 34 coincidences: 16 in *WISE*, 7 in *Swift*/BAT, 7 with radio detection (2 HERG, 1 LERG, and 4 unclassified), and 27 broad-line AGNs. For our type-2 AGN candidates, 36 coincidences were found: 14 in *WISE*, 3 in *Swift*/BAT, 23 with radio detection (0 HERG, 12 LERG), and 4 broad-line AGNs. After a visual inspection of these 4 AGNs labelled as broad-line by Oh et al. (2015), one was catalogued as variable (1-460288), two show Lorentzian emission line profiles in the narrow components (1-604907, 1-385099), and another one has low S/N showing no clear evidence of a broad component (1-72322).

The AGN selection by Rembold et al. (2017), Sánchez et al. (2018) and, Wylezalek et al. (2018, 2020) is mainly based on the characterization of AGN using the BPT diagnostic diagrams, which, although very useful for detecting type-2 AGN, fail to detect type-1 AGN. On the other hand, the work of Wylezalek et al. (2018, 2020) and Comerford et al. (2020) uses data bases of previously detected type-1 AGN, i.e. they do not develop their own detection method to identify the broad line objects.

5 AGN MULTIWAVELENGTH PROPERTIES

Galaxies with nuclear activity present different properties across a broad range of wavelengths, reflecting different contributions from the nuclear region and the host galaxy (e.g. Padovani et al. 2017, and references there in). Most ultraviolet (UV) to near-IR (NIR) emission emerging from an AGN is produced by the inner regions of the accretion disc (Secrest et al. 2015; Assef et al. 2018). For the most obscured objects, the emission from the active nucleus at wavelengths shorter than the optical range (including X-rays for the compton thick AGN) is hidden by the nuclear and circumnuclear dust. It is, therefore, very convenient to use the NIR to mid-IR (MIR) band because it allows identifying both unobscured (type-1) and obscured (type-2) AGN (Mateos et al. 2012; Stern et al. 2012; Jarrett et al. 2017; Assef et al. 2018). The emission is dominated by cold dust associated with star formation in the host galaxy at longer wavelengths.

In the unified model (UM; e.g. Antonucci 1993), the orientation of an optically-thick torus of dust and gas surrounding the central engine plays a central role in determining the observable features of an AGN. According to the UM, in Type 1 AGN, the accretion disc is oriented face-on, leaving an unobstructed view of the broad line region. In that orientation the emission of the ionizing photons coming from the accretion disc, can be used as indicator of intrinsic AGN luminosity.

In contrast, the UM predicts that type-2 AGNs are oriented edge-on, obstructing a direct view of the broad line region. These obscured AGNs can be identified instead, by emission lines originated in the narrow line region (NLR), a region far from the central emission but still affected by the ionizing central continuum (Hickox & Alexander 2018). Therefore the emission lines coming from the NLR can also be used as indicators of intrinsic AGN luminosity. The flux of the $[O III]\lambda 5007$ line is commonly used as such a diagnostic (e.g. Bassani et al. 1999; Heckman et al. 2005) as it is one of the most prominent lines and suffers little contamination from star formation processes in the host galaxy. This line although attenuated by dust in the host galaxy, can be corrected by applying a reddening correction using the observed Balmer decrement (i.e. the observed ratio of the narrow $H\alpha/H\beta$ emission lines compared to the intrinsic ratio) and a mean extinction curve for galactic dust.

The X-ray emission is also another viable alternative to detect AGN since X-rays are produced in a corona of hot electrons, within a few gravitational radii from the central accreting disc (e.g. Haardt & Maraschi 1991; Kara et al. 2015). This emission is less affected by obscuration and also by contamination from star formation processes (Stern & Laor 2012), therefore it can be used as a reference measure of the nuclear emission power in type-1 AGN. Furthermore, since the soft X-ray emission is partially absorbed by the hot dust surrounding the central black hole, some correlations between MIR and X-ray luminosities are expected (Lutz et al. 2004; Gandhi et al. 2009; Suh et al. 2017, 2019).

A mixture of the nuclear activity emission with the host galaxy contribution is often seen in nearby AGN in the optical spectra.

Table 3. Main properties of the 47 galaxies with active nuclei according to our selection criteria. ^a The magnitude corresponds to the g-band provided by SDSS (DR14). ^b The redshift was obtained by Pipe3D (Sánchez et al. 2016, 2021). ^c Stellar masses from NSA catalogue derived from Sersic fluxes. ^d The $H\alpha_{BC}$ and $[O\text{III}]$ luminosities were obtained from our emission lines fitting (Cortes-Suarez et al., in preparation). ^e Empirical classification of the type-1 AGN described in Section 5.1, 1 for AGN dominant, 2 for intermediate, and 3 for galaxy dominant.

SDSS-ID (1)	MaNGA-ID (2)	Plate-IFU (3)	R.A. (4)	Dec. (5)	m_g^a (6)	z^b (7)	M_*^c (M_\odot) (8)	$L([O\text{III}]^d$ (9)	$L(H\alpha_{BC})^d$ (10)	AGN group ^e (11)
J211646.33+110237.4	1-113712	7815-6104	319.1931	11.0437	16.67	0.081	10.49	42.13	42.14	1
J212851.19-010412.4	1-180204	7968-3701	322.2130	-1.0701	15.29	0.052	10.74	39.59	40.47	2
J210721.91+110359.1	1-113405	7972-3704	316.8410	11.0664	17.5	0.042	9.91	40.03	40.32	3
J220429.49+122633.3	1-596598	7977-9101	331.1229	12.4426	15.26	0.027	10.49	39.93	41.15	2
J171411.63+575834.0	1-24092	7991-1901	258.5485	57.9761	16.3	0.093	10.18	42.22	43.47	1
J171518.57+573931.6	1-24148	7991-6104	258.8274	57.6588	15.91	0.028	10.18	40.04	40.14	3
J072656.08+410136.0	1-548024	8132-6101	111.7337	41.0267	16.82	0.129	11.20	40.96	41.38	3
J073623.13+392617.7	1-43214	8135-1902	114.0964	39.4383	16.22	0.118	10.79	43.16	43.29	1
J073846.89+295328.5	1-121075	8144-3702	114.6950	29.8913	16.62	0.098	10.96	40.17	41.09	3
J040548.78-061925.8	1-52660	8158-3704	61.4533	-6.3238	17.33	0.057	10.26	40.15	41.14	3
J082840.99+173453.0	1-460812	8241-9102	127.1710	17.5814	16.42	0.067	10.68	40.23	40.66	3
J134630.60+224221.6	1-523004	8320-6101	206.6280	22.7060	15.73	0.027	10.07	39.11	39.81	3
J142004.29+470716.8	1-235576	8326-6102	215.0179	47.1213	16.17	0.070	10.76	40.93	41.57	2
J123651.17+453904.1	1-620993	8341-12704	189.2132	45.6512	14.69	0.030	10.44	40.39	40.73	2
J134300.79+360956.3	1-418023	8446-1901	205.7530	36.1657	16.32	0.024	9.49	39.67	40.48	2
J111803.22+450646.8	1-256832	8466-3704	169.5134	45.1130	16.43	0.107	11.30	41.28	41.91	2
J143031.19+524225.8	1-593159	8547-12701	217.6300	52.7072	15.23	0.045	10.76	40.23	40.56	3
J160505.15+452634.8	1-210017	8549-12702	241.2715	45.4430	15.19	0.043	10.81	40.05	41.39	2
J153552.40+575409.5	1-90242	8553-1901	233.9680	57.9026	15.05	0.030	10.01	42.81	42.26	1
J153810.05+573613.1	1-90231	8553-9102	234.5420	57.6037	15.45	0.074	10.96	40.29	41.26	2
J162838.23+393304.4	1-594493	8603-6101	247.1590	39.5513	13.74	0.031	11.22	39.56	40.18	3
J170007.17+375022.2	1-95585	8606-12701	255.0300	37.8395	15.33	0.063	11.20	40.27	40.66	3
J212401.90-002158.7	1-550901	8615-3701	321.0080	-0.3663	16.2	0.062	10.50	40.66	41.42	2
J075525.29+391109.8	1-71974	8713-9102	118.8554	39.1861	15.26	0.033	10.35	40.60	41.29	1
J075244.19+455657.4	1-604860	8714-3704	118.1842	45.9493	15.37	0.052	11.04	40.74	41.54	3
J075643.71+445124.1	1-44303	8718-12701	119.1820	44.8567	15.88	0.050	10.39	40.24	40.33	3
J082842.73+454433.3	1-574519	8725-9102	127.1781	45.7426	16.33	0.049	10.23	40.37	40.72	2
J080020.98+263648.7	1-163966	8940-12702	120.0870	26.6135	14.16	0.027	10.70	40.63	40.99	3
J164520.62+424527.9	1-94604	8978-6104	251.3360	42.7578	16.3	0.049	10.32	39.66	40.59	3
J134401.90+255628.3	1-423024	8983-3704	206.0080	25.9412	15.9	0.062	10.54	40.63	41.15	2
J113409.01+491516.4	1-174631	8990-12705	173.5380	49.2546	16.95	0.037	9.92	40.50	39.89	3
J112637.74+513423.0	1-149561	8992-3702	171.6570	51.5730	15.87	0.026	9.87	39.80	40.11	2
J112536.16+542257.1	1-614567	9000-1901	171.4010	54.3826	15.9	0.021	9.68	40.60	41.46	1
J160436.23+435247.3	1-210186	9036-6101	241.1510	43.8798	16.33	0.060	10.53	39.88	40.50	3
J162501.44+241547.4	1-295542	9048-1902	246.2560	24.2632	16.61	0.050	10.12	40.91	41.34	2
J075828.10+374711.6	1-71872	9181-12702	119.6170	37.7866	13.87	0.041	11.42	40.08	40.63	3
J075756.71+395936.0	1-71987	9182-6102	119.4860	39.9934	16.21	0.040	10.63	40.70	40.08	3
J030639.56+000343.1	1-37863	9193-12704	46.6649	0.0620	16.77	0.107	10.45	41.63	42.52	1
J030510.60-010431.6	1-37385	9193-9101	46.2942	-1.0755	15.66	0.045	10.82	40.09	41.11	3
J030652.09-005347.5	1-37336	9194-6101	46.7171	-0.8965	16.32	0.084	10.88	40.05	40.90	3
J030834.31+003303.3	1-37633	9194-6103	47.1430	0.5509	16.05	0.031	10.28	39.21	40.39	3
J172935.80+542940.0	1-24660	9196-12703	262.3990	54.4944	16.28	0.082	10.80	40.45	41.02	3
J081319.33+460849.6	1-574506	9487-3702	123.3310	46.1472	16.5	0.054	10.53	40.59	41.03	3
J081516.86+460430.8	1-574504	9487-9102	123.8203	46.0753	15.08	0.041	10.70	41.78	42.50	1
J075217.84+193542.2	1-298111	9497-12705	118.0744	19.5951	15.81	0.117	10.90	43.35	43.10	1
J084654.09+252212.3	1-385623	9500-1901	131.7254	25.3701	16.10	0.051	10.16	41.68	42.70	2
J134245.70+243524.0	1-523211	9881-1902	205.6900	24.5901	15.7	0.027	10.04	38.96	39.69	3

In this section, we classified the observed spectra in our type-1 AGN MaNGA sample based on the relation of two spectral emission/absorption lines. Using the information in the IR and radio wavelengths, we locate our objects in the AGN classification diagrams in those bands. We further look for correlations of luminosity indicators at X-rays, optical, IR, and radio wavelengths. That information, taking into account the presence of upper limits in the X-rays and Radio data, is useful to understand the impact of AGN activity on other properties of the host galaxies.

5.1 An empirical type-1 AGN optical spectral classification

Type-1 AGN spectra show large spectral differences in the continuum shape and emission line strengths of the narrow and/or broad components (e.g. Boroson & Green 1992; Sulentic et al. 2000; Shen & Ho 2014; Padovani et al. 2017; Hickox & Alexander 2018). The differences in the spectral profile is a consequence of the different SED and physical condition in the line emitting gas, ultimately related to the accretion disc orientation. To classify this diversity in terms of the host galaxy and power law (HG-PL) contributions,

we propose to use spectral indexes similar to Lick indexes, designed for stellar population studies that go from $\text{CN}\lambda 4161$ to $\text{TiO}_2\lambda 6233$ (e.g. Worthey et al. 1994). We use particular EW measurements for spectral regions containing stellar absorption lines or AGN emission lines and their corresponding local nearby continua.

We define an H-Index in the spectral interval 3950–3990 Å where the CaII H absorption line is strong in spectra dominated by stellar absorption lines. When the AGN emission is dominant, the CaII H line is ‘filled’ by the non-thermal continuum, and the emission lines of $[\text{NeIII}]\lambda 3967$ and $\text{H}\epsilon$ can be seen. The size of this interval is broad enough to include the expected location of the CaII H absorption line for host galaxy dominated spectra (that can reach velocities greater than 500 km s^{-1} ; Cherinka & Schulte-Ladbeck 2011), and the $[\text{NeIII}]\lambda 3967$ and $\text{H}\epsilon$ emission lines in the power-law dominated spectra. A second spectral interval intends to measure $\text{H}\beta$ whether it is in emission or absorption. In the case of strong AGN contribution, part of the broad emission component is included. We choose the Lick $\text{H}\beta$ -Index defined in the spectral 4848–4878 Å interval, where the $\text{H}\beta$ emission line could disappear if there is an intense stellar absorption line (Greene & Ho 2005).

To compute the CaII H and $\text{H}\beta$ indexes, we used the continua around 4020 and 5100 Å, respectively, with a width of 50 Å. The continuum for estimating the CaII H-Index (H-index) is intended to consider the slope of the Balmer jump. For instance, Bruzual A. (1983) characterized the amplitude of the discontinuity around 4000 Å (D4000) using the intervals 3750–3950 and 4050–4250 Å. In the case of bluer galaxies, the amplitude of the discontinuities decreases.

The upper panel of Fig. 10 shows the resulting index values for the 47 type-1 AGNs. In this plot, positive values are for emission lines. Since both quantities seem to be correlated, a linear relation is fit obtaining,

$$\text{H-Index} = (-10.75 \pm 0.44) + (0.40 \pm 0.02) \text{H}\beta\text{-Index} \quad (1)$$

with a relation value r^2 of 0.88.

A quadratic fit,

$$\text{H-Index} = (-11.99 \pm 0.38) + (0.71 \pm 0.05) \text{H}\beta\text{-Index} - (0.006 \pm 0.001) \text{H}\beta\text{-Index}^2 \quad (2)$$

seems to fit better the data, with a $r^2 = 0.94$, however, not a very different r^2 was found using a first-order exponential fit. The plot shows that the H-Index values can be as negative as -14.2 \AA in the case of dominant absorption lines, or positive, up to 14.7 \AA , in the case of dominant emission lines. It is noticeable that 83 per cent of the objects in this distribution have negative values which is a signature of the presence of the stellar CaII absorption lines. In the case of the $\text{H}\beta$ -Index, the range values are between -1.1 \AA and 69.2 \AA , with only six objects measured in absorption. This empirical description intends to emphasize the different levels of nuclear activity in the observed spectra, where the most AGN dominant cases show positive values of both (EWs) indexes.

An inspection to Fig. 10 shows that the 47 type-1 AGNs can be grouped into three specific regions of this diagram.

(i) *AGN dominant*. They are in the extreme region where the H-Index $> -1.0 \text{ \AA}$ (9 galaxies above the purple line). The spectra of objects in this region show a Balmer broad emission line having various components, with an apparent absence of absorption lines, and the continuum dominated by the AGN power law.

(ii) *Galaxy dominant*. They are located at the other extreme, where H-Index $< -8 \text{ \AA}$ and $\text{H}\beta$ -Index $< 4.1 \text{ \AA}$ (blue stars, 24 galaxies). The spectra of objects in this region show only a featureless $\text{H}\alpha$

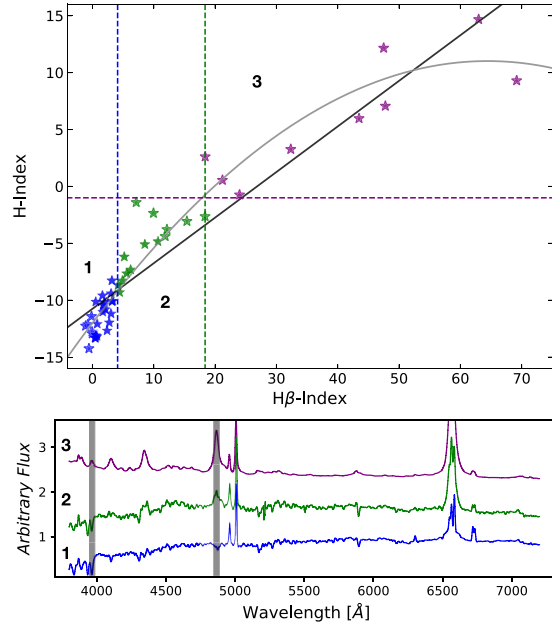


Figure 10. Top figure. Index values for all 47 AGNs of the $\text{H}\beta$ (abscissa) and blue interval (ordinate). The dashed lines indicate the limits to separate our AGN by the features in their spectra (see the text). The colour pattern indicates each group of AGN, blue for dominant galaxy (1), green for intermediate type (2), and purple for dominant AGN (3). Bottom figure shows an example spectrum for each group, where we can see the differences in the continua, the absorption/emission lines, and the shape of the broad lines.

broad component with a continuum mostly dominated by the stellar contribution.

(iii) *Intermediate*. A third group can be described as in between of the previous two extremes, in the region H-Index $< -1 \text{ \AA}$ and $\text{H}\beta$ -Index $< 18.7 \text{ \AA}$ (green stars, 14 galaxies). The spectra of objects in this region show both the $\text{H}\alpha$ and $\text{H}\beta$ broad emission lines, the AGN power law as well as absorption lines.

The lower panel of Fig. 10 shows an example spectra for each group, evidencing different levels of the nuclear activity contribution in the observed spectra. The differences can be explained principally by the host galaxy contribution, dust contamination, obscuration of the broad line region, and the state of nuclear activity (Kauffmann et al. 2003; Laor 2003; Hao et al. 2005; D’Onofrio, Marziani & Chiosi 2021). More detailed analysis of the observed properties of the broad emission lines for each group will be discussed in Cortes et al. (in preparation).

5.2 Multiwavelength data

We have collected information at different wavelengths from the *WISE* catalogue (Wright et al. 2010) at IR wavelengths, in the radio continuum from FIRST (Becker et al. 1995) and NVSS (Condon et al. 1998), and in X-ray catalogue using *ROSAT* (Boller et al. 2016).

The detection fraction for our 47 type-1 AGN samples is complete in the *WISE* NIR and MIR bands ($W1 = 3.4 \mu\text{m}$, $W2 = 4.6 \mu\text{m}$, $W3 = 12 \mu\text{m}$, and $W4 = 22 \mu\text{m}$). In the case of X-ray data the detection fraction is 55 per cent coming from the *ROSAT* catalogue. The matched radio continuum detection fraction is 51 per cent coming

mainly from the FIRST and NVSS surveys. Sections 5.3 and 5.4 provide a more detailed description of the IR and radio properties of the current sample, while Section 5.5 presents a correlation analysis between optical and the multiwavelength luminosities by taking into account the presence of upper limits in the 20 cm and X-ray data.

Table 4 reports the values found, Column 1 is the MaNGA identification number, Columns 2–5 are the *WISE* fluxes, Column 6 is the flux in the soft X-rays range from *ROSAT*, Column 7 is the radiocontinuum luminosity (L_{Radio}) coming from NVSS/FIRST, Column 8 reports the radio-loudness classification using the X-ray radio-loudness parameter (R_K ; Terashima & Wilson 2003) with the values of the FIRST and NVSS fluxes (Section 5.5), Column 9 shows the excitation index characterization following Buttiglione et al. (2010). Column 10 shows the radio source characterization following Best et al. (2005), Best & Heckman (2012), Mingo et al. (2016). Column 11 is the radio characterization (LERG/HERG) following Best & Heckman (2012).

5.3 The *WISE* colour–colour diagram

The selection criteria using one (Stern et al. 2012; Assef et al. 2018) or two (Mateos et al. 2012; Jarrett et al. 2017) *WISE* colours are based on the fact that the SEDs of stars and star-forming galaxies in the MIR are different from that of AGN. The reason is due to the fact that stars have a blackbody SED that drops at wavelengths longer than a few microns, and the reprocessed photons from very hot dust around star-forming regions peak at around a few tens of microns. For the case of AGN, the radiation from the accretion disc heats the dust of the surrounding torus to the dust sublimation temperature (1000–1500 K), so that the AGN spectral power law generated is nearly flat, which is clearly distinguishable from stellar ones.

As described in Caccianiga et al. (2015), *WISE* colours may be helpful to study the effect of the combination of the AGN emission with the host galaxy contribution. The W1 and W2 bands trace the continuum emission from low-mass evolved stars. The W3 band is dominated by both the 11.3 μm PAH (polycyclic aromatic hydrocarbon) and the 12.8 μm [Ne II] emission features. The W4 band traces the dust continuum that is reprocessed from star formation and AGN activity (Jarrett et al. 2017).

In this context, Stern & Laor (2012) studied the *WISE* colours of AGN in the COSMOS Survey (Scoville et al. 2007), selecting the galaxies with the active nucleus based on W1 and W2 magnitudes. They show that down to a W2 magnitude of 15.05, 78 per cent of Spitzer-identified AGN have $W1 - W2 > 0.8$ and 95 per cent of the objects with such red *WISE* colours are bona fide AGN. Further on, Assef et al. (2018) probed the AGN selection on significantly deeper *WISE* magnitudes by extending and improving the *WISE* AGN selection. These tests have provided different selection criteria separately optimized for reliability and completeness (90 per cent for $W1 - W2 > 0.5$).

We use the AllWISE Source Catalogue (Wright et al. 2010; Mainzer et al. 2014) to retrieve fluxes for the complete MPL-7 MaNGA sample. We found information for 4277 galaxies, including all our type-1 and type-2 AGN objects except for three type-2 AGN. We have adopted the magnitudes measured with a profile-fitting photometry.

Fig. 11 shows the distribution of all the MPL-7 MaNGA sample in the colour–colour $W1 - W2$ versus $W2 - W3$ diagram (Jarrett et al. 2011; Caccianiga et al. 2015). The colour dots correspond to the type-1 AGN empirical classification described in Section 5.1: AGN dominant (purple), host dominant (blue), and intermediate (green). Type-2 AGN are shown in black, and the complement (non-AGN)

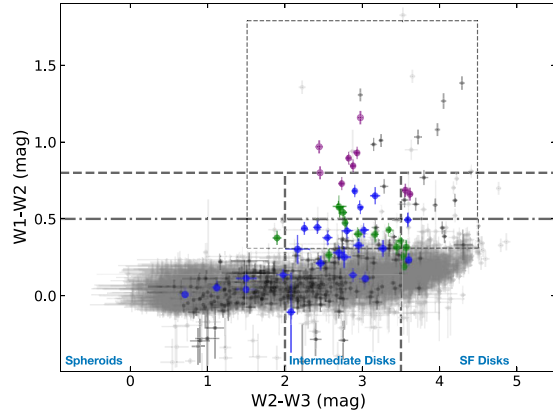


Figure 11. The $W1 - W2$ versus $W2 - W3$ colour diagram. Our type-1 AGN sample is shown as AGN dominant (purple dots), host dominant (blue dots), and intermediate (green dots). 3992 galaxies of MPL-7 are shown as grey dots. We also add the type-2 AGN population from Section 3.3 as black dots. The inner box is the characteristic region for the AGN, including the demarcation line of $W1 - W2 = 0.8$ (Stern et al. 2012) and $W1 - W2 = 0.5$ (Assef et al. 2018). The vertical dashed lines separate the galaxies between spheroids (left-hand side), intermediate discs (middle), and star-forming discs (right-hand side) from Jarrett et al. (2017).

DR15 sample in grey dots. The short-dashed black box encompasses the region of different types of AGN presented in Caccianiga et al. (2015, see its Fig. 1). Among the AGN types included in this box are the blazar ‘*WISE* Gamma-ray Strip’ (WGS) for BL Lacs, Flat Spectrum Radio Quasars (FSRQ), defined by Massaro et al. (2012), and the AGN wedge defined by Mateos et al. (2012), Mateos et al. (2013) for X-ray-selected AGN. The horizontal dashed and dot-dash lines are the AGN limit proposed by Stern et al. (2012, at $W1 - W2 = 0.8$) and Assef et al. (2018, at $W1 - W2 = 0.5$), respectively. Vertical dashed lines show the regions occupied by spheroidal (early-type), intermediate-discs and SF discs (late-type) galaxies as presented in Jarrett et al. (2017).

Fig. 11 shows that about two-thirds (66 per cent) of our type-1 AGN sample lies within the short-dashed black box enclosing different types of AGN in Caccianiga et al. (2015), 14 of our type-1 AGN meet the revised infrared Assef et al. (2018) selection criteria, and only five lie above the original Stern et al. (2012) criterion. The rest of the objects are located below any of the specified AGN regions. If our empirical classification of AGN is considered, the AGN-dominant galaxies lie above the AGN Assef et al. (2018) line. In contrast, the intermediate and host dominant groups remain below this limit, indicating that an increasing contribution of the host galaxy is placing the AGN below this limit. However, segregation between host-dominated and intermediate AGN types can still be appreciated in the sense that below $W1 - W2 \sim 0.25$, there are no intermediate types, although above and below this limit and within the $1.9 > W2 - W3 > 3.6$ interval, it is possible to find host dominated ones, which extend to values of $W2 - W3$ as low as 0.8. For comparison, in the case of the type-2 AGN population, ~ 10 per cent is located in the AGN region, 3 per cent is above the Stern et al. (2012) limit and ~ 6 per cent of the Assef et al. (2018) line. Most (~ 90 per cent) of type-2 objects are outside this region, suggesting that the source of the emission is highly contaminated or due to another kind of source in the host galaxy (e.g. post-AGB or shocks, see Section 3.3).

Table 4. The multiwavelength λ L_{λ} luminosities (in $\log \text{erg s}^{-1}$) of the AGN type-1 sample. Columns 2–5 are the *WISE* luminosities for each Near-IR and MID-IR band. Column 6 is the X-Ray luminosity at 0.1–2.4 KeV from the Second *ROSAT* all-sky survey (2RXS) source catalogue. Column 7 is the radio luminosity (L_{Radio}) at 20 cm from FIRST catalogue. The bold values are from the NVSS catalogue. Column 8 is the X-ray radio-loudness parameter from Terashima & Wilson (2003). Column 9 is the excitation index classification by Buttiglione et al. (2010). Column 10 is the radio source classification obtained from Fig. 12. Column 11 is the Best & Heckman (2012) classification for galaxies with AGN radio detections. Italic values are the upper limits. AGN with jets are indicated with an asterisk.

MaNGA-ID (1)	w1 (2)	w2 (3)	w3 (4)	w4 (5)	0.1–2.4 KeV (6)	20 cm (7)	Log R_X (8)	HE/LE (9)	Radio source (10)	HERG/LERG (11)
1–113712	43.75	43.66	43.60	43.82	42.72 ± 0.14	38.70 ± 0.03	–4.92	HE	SF	–
1–180204	43.30	42.99	43.25	43.24	<i>42.47</i>	<i>37.98</i>	–	HE	–	–
1–113405	42.73	42.60	42.72	42.78	<i>42.13</i>	<i>37.79</i>	–	HE	–	–
1–596598	43.04	42.81	42.41	42.44	41.86 ± 0.15	<i>37.22</i>	–	LE	–	–
1–24092	44.22	44.19	44.17	44.32	43.51 ± 0.04	<i>38.51</i>	–	–	–	–
1–24148	42.99	42.56	42.24	42.33	<i>41.57</i>	<i>37.47</i>	–	HE	–	–
1–548024	44.03	43.81	43.87	43.95	<i>43.02</i>	<i>38.83</i>	–	HE	–	–
1–43214	44.81	44.81	44.64	44.69	44.15 ± 0.04	39.30 ± 0.05	–5.75	–	SF	–
1–121075	43.56	43.31	43.33	43.21	<i>42.75</i>	<i>38.55</i>	–	LE	–	–
1–52660	42.92	42.66	42.37	42.65	<i>42.41</i>	–	–	HE	–	–
1–460812	43.67	43.46	43.27	43.36	<i>42.54</i>	38.96 ± 0.04	–4.47	HE	AGN	HERG
1–523004	42.74	42.40	42.40	42.43	<i>41.68</i>	<i>37.37</i>	–	LE	–	–
1–235576	43.73	43.57	43.50	43.52	43.06 ± 0.05	38.68 ± 0.02	–5.27	HE	SF	–
1–620993	42.95	42.69	42.91	43.05	43.15 ± 0.03	38.11 ± 0.04	–5.94	HE	SF	–
1–418023	42.50	42.33	42.28	42.47	42.21 ± 0.06	<i>37.30</i>	–	HE	–	–
1–256832	44.07	43.88	43.84	43.91	43.98 ± 0.04	39.86 ± 0.02	–5.02	HE	AGN	HERG
1–593159	43.53	43.24	43.53	43.71	42.13 ± 0.12	38.59 ± 0.04	–4.43	HE	SF	–
1–210017	43.39	43.11	42.98	42.91	<i>42.30</i>	<i>37.81</i>	–	HE	–	–
1–90242	43.61	43.60	43.62	43.76	43.33 ± 0.01	38.25 ± 0.01	–5.58	HE	SF	–
1–90231	43.56	43.28	43.53	43.55	42.83 ± 0.08	38.68 ± 0.07	–5.05	HE	SF	–
1–594493*	43.45	43.07	42.20	42.09	43.58 ± 0.02	41.12 ± 0.01	–3.36	–	AGN	LERG
1–95585	43.47	43.17	43.00	43.01	<i>42.11</i>	38.70 ± 0.06	–4.30	LE	AGN	HERG
1–550901	43.43	43.17	43.44	43.68	42.86 ± 0.08	38.12 ± 0.05	–5.64	HE	SF	–
1–71974	43.25	43.13	43.41	43.51	43.12 ± 0.03	<i>37.61</i>	–	–	–	–
1–604860*	43.75	43.54	43.29	43.31	43.11 ± 0.05	40.60 ± 0.01	–3.40	LE	AGN	LERG
1–44303	43.01	42.66	42.72	42.87	<i>42.18</i>	<i>37.94</i>	–	HE	–	–
1–574519	43.14	42.91	43.03	42.96	<i>42.23</i>	<i>37.92</i>	–	HE	–	–
1–163966	43.62	43.51	43.52	43.72	42.02 ± 0.12	38.42 ± 0.02	–4.50	HE	SF	–
1–94604	42.97	42.70	42.63	42.48	42.22 ± 0.12	<i>37.91</i>	–	HE	–	–
1–423024	43.48	43.26	43.45	43.51	42.62 ± 0.11	<i>38.14</i>	–	HE	–	–
1–174631	42.66	42.44	42.41	42.55	<i>41.99</i>	<i>37.69</i>	–	HE	–	–
1–149561	42.64	42.42	42.44	42.75	<i>41.92</i>	<i>37.37</i>	–	HE	–	–
1–614567	43.13	43.06	42.89	42.88	42.08 ± 0.07	37.37 ± 0.04	–5.61	HE	SF	–
1–210186	43.12	42.83	42.79	42.57	<i>42.84</i>	<i>38.12</i>	–	HE	–	–
1–295542	43.21	42.96	43.21	43.48	<i>42.27</i>	38.37 ± 0.08	–4.79	HE	SF	–
1–71872*	43.72	43.35	42.64	42.57	42.21 ± 0.11	41.22 ± 0.01	–1.88	LE	AGN	LERG
1–71987	42.91	42.72	43.00	43.62	<i>42.61</i>	40.22 ± 0.01	–3.30	HE	AGN	HERG
1–37863	44.15	44.10	44.10	44.24	43.35 ± 0.11	39.31 ± 0.04	–4.93	HE	SF	–
1–37385	43.24	42.91	42.55	42.38	<i>42.32</i>	<i>37.87</i>	–	LE	–	–
1–37336	43.61	43.35	43.50	43.42	<i>43.16</i>	<i>38.43</i>	–	LE	–	–
1–37633	42.95	42.58	42.03	41.86	<i>41.97</i>	38.03 ± 0.05	–4.84	LE	AGN	LERG
1–24660	43.83	43.67	43.71	43.90	42.30 ± 0.17	38.72 ± 0.03	–4.48	HE	SF	–
1–574506	43.26	43.03	42.90	42.98	42.92 ± 0.06	<i>38.06</i>	–	HE	–	–
1–574504	43.60	43.48	43.77	44.07	42.85 ± 0.05	38.67 ± 0.03	–5.07	LE	SF	–
1–298111	44.55	44.62	44.66	44.91	43.14 ± 0.17	40.14 ± 0.02	–3.90	HE	AGN	HERG
1–385623	43.27	43.12	43.05	42.89	43.39 ± 0.05	<i>37.95</i>	–	HE	–	–
1–523211	42.57	42.22	41.67	41.68	<i>41.65</i>	<i>37.39</i>	–	LE	–	–

Downloaded from https://academic.oup.com/mnras/article/514/3/3626/6598823 by guest on 18 July 2022

5.4 FIRST/NVSS radio properties and the identification of radio-jets

Radio observations are an alternative for detecting AGN. The dominant emission process in the radio band is of non-thermal origin, due to synchrotron emission. The intensity of this emission has been associated with fundamental physical differences in nuclear activity, mainly due to differences in the accretion efficiency (Padovani et al.

2017). As a result, two intrinsically different populations of AGN radio emitters, emerge. The first one is associated with quasars in high-accretion (above 1 per cent of Eddington) high-excitation regime showing strong emission lines. In this scenario, the material is accreted in a radiatively efficient mode through an optically thick and geometrically thin accretion disc. These are known as high-excitation radio galaxies (HERGs) or radiative-mode AGN (e.g. Best

& Heckman 2012). The second mode refers to objects showing highly energetic radio jets and weak lines due to inefficient radiation, low accretion (below 1 per cent of Eddington) and low excitation regime. The radiation of these AGN is due to advection-dominated accretion flows (ADAF). These are optically thin, geometrically thick accretion flows, emitting the bulk of their energy in kinetic form through radio jets. They are called low-excitation radio galaxies (LERGs) or jet-mode AGN.

In this subsection, we intend to carry out a characterization of our type-1 AGN sample in terms of their radio properties. Radio detections were found for 23 of 47 AGNs (21 from FIRST, and 17 from NVSS, with 15 coincidences between them). The radio data is reported in Table 4 (Column 7), bold-facing the ones from NVSS. Three objects in our sample show higher density fluxes in NVSS when compared to those reported in FIRST. A quick look at the FIRST maps show that these are extended sources also with filamentary emission (see Fig. 16). We recall the reader that the 5σ detection limits of FIRST (with a resolution $\theta = 5.4$ arcsec) and NVSS (with $\theta = 45$ arcsec) are 1 mJy beam^{-1} and $2.3 \text{ mJy beam}^{-1}$ respectively, so that FIRST is more than twice as sensitive as the NVSS to sources with angular diameters < 5.4 arcsec. However, in terms of brightness, their RMS image noises are $\sigma = 3.21 \text{ K}$ and 0.14 K , respectively, so the NVSS is about 20 times more sensitive than FIRST to extended sources. Thus we decided to report the NVSS values for these extended sources (stars inside circles in Fig. 13). For objects without FIRST detections, we report upper limits for the radio emission by considering the catalog detection limit (including the CLEAN bias).⁴

5.4.1 AGN versus star-forming emission

The origin of the radio emission in galaxies can emerge from both nuclear activity and intense star formation. The radio emission from star forming regions is mostly due to the synchrotron emission of particles accelerated in supernova shocks. In this scenario, the radio luminosity should be correlated with the star formation rate (SFR). High SFR leads to correspondingly high radio power (e.g. Condon 1992; Sanders & Mirabel 1996, and references therein). Particularly, intense star formation activity in radio quiet AGN would give rise to radio emission. In terms of the Eddington ratio, higher values of Eddington ratio are associated with concomitant high SFR (e.g. Sani et al. 2010; Ganci et al. 2019).

To establish the origin of the radio emission in our sample, whether thermal from the SF regions or non-thermal from radio jets, we can use diagnostic diagrams. Using optical data, the BPT diagram is useful to locate objects in the AGN-composite-SF regions (Section 3). In the $\log[\text{O III}]/\text{H}\beta$ versus $\log[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ plane of Fig. 6, blue stars shows our type-1 AGN sample, of which one object lies in the SF region, while another 14 are placed in the composite region. In the case of the WHAN diagram, we have two type-1 objects having $\text{EW}(\text{H}\alpha) < 3 \text{ \AA}$, suggesting that for those objects, the ionization processes could not be associated only with the AGN (Cid Fernandes et al. 2011). However, as discussed previously, BPT or WHAN diagrams are not optimized for broad-line AGN.

Taking into account the radio emission, several authors have used different criteria to separate radio-emitting AGN from starbursting galaxies (e.g. Best & Heckman 2012; Mingo et al. 2016; Hardcastle et al. 2019). The $\log(L_{\text{radio}})$ versus $\log(L\text{H}\alpha)$ diagram proposed by

⁴The reader is referred to <http://sundog.stsci.edu/first/catalogs/readme.html> for more details.

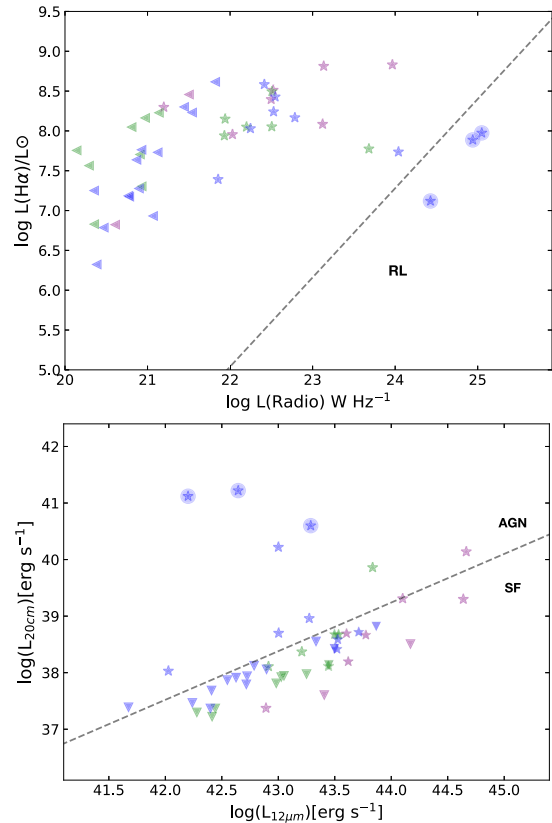


Figure 12. The classification of radio sources for our type-1 AGNs. The top plot is the relationship between $\text{H}\alpha$ and radio luminosity. The dashed line is the limit between radio loud sources and star forming sources (Best & Heckman 2012). Bottom plot is the radio/mid-IR star formation correlation. The dashed line is the best fit of star forming sources from Mingo et al. (2016). Objects above this linear are classified as AGN source.

Best & Heckman (2012, see its fig. A1) shows that for star-forming galaxies both luminosities are correlated, which provides a direct measure of the SF rate. On the other hand, the location of radio-loud AGN (RL) in this diagram is due to their much higher radio luminosity to $\text{H}\alpha$ luminosity ratio.

The adopted division line (considering the observed $\text{H}\alpha$ luminosity) is $\log(L\text{H}\alpha/L_{\odot}) = 1.12 \times (\log(L_{\text{radio}}/W \text{ Hz}^{-1}) - 17.5)$. Galaxies placed above the theoretical model are considered star-forming galaxies. We build the diagram (Fig. 12 upper panel) using the radio flux (column 7, Table 4) and the flux of $\text{H}\alpha_{\text{BC}}$ estimated from our emission line fitting (Cortes-Suarez et al., in preparation) using our host galaxy subtracted data (column 10, Table 3). As expected, we find our three AGNs with extended radio emission in the AGN radio-loud region.

Other option is to use the correlation between radio and MIR emission at $12 \mu\text{m}$ for SF galaxies (Mingo et al. 2016, see also the Fig. 11 for the location of the SF discs in the *WISE* diagram). The correlation found by Mingo et al. (2016) for SF galaxies ($\log(L_{20\text{cm}}) = (0.86 \pm 0.04) \log(L_{12\mu\text{m}}) + (1.4 \pm 1.5)$) can be used to set the division between star-forming sources and radio emitting AGN. The lower panel of Fig. 12, locates our objects in this diagram, stars are

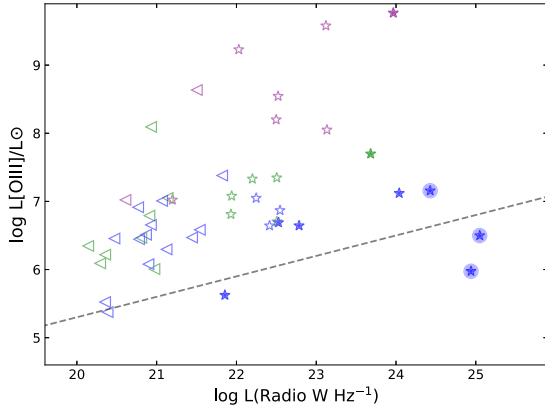


Figure 13. [OIII] emission line luminosity versus radio luminosity. Type-1 AGNs are shown as AGN dominant (purple), galaxy dominant (blue), and intermediate (green). We used the dashed line of Best & Heckman (2012) to separate HERGs and LERGs for our nine objects in filled stars. We also add the upper limits as left-hand triangles.

for radio measurements and inverse triangles show the radio upper limits. We find 9 radio emitting objects in the AGN region: 7 of them classified as host dominated AGN (3 of them with extended radio emission), one intermediate and one AGN-dominated object. In the SF region, the majority of the objects are intermediate and dominated AGN (5 and 6 objects, respectively). Looking at the radio upper limits, all except one host dominated object lie in the SF region. Column 10 of Table 4 is a summary of the AGN-SF radio source classification.

5.4.2 Radio classification

For objects whose radio emission has been labeled as coming from an AGN in the previous section, we proceed to determine to which AGN population (HERG/LERG) belongs depending on their radio intensity following three criteria proposed by Best & Heckman (2012).

[OIII] λ 5007 Equivalent Width – Objects with $EW([OIII])$ values lower than 5 \AA are considered LERGs, while objects with $EW([OIII])$ greater than 5 \AA are considered HERGs. Since the [OIII] λ 5007 line was detected for all our sources, we compute the $EW([OIII])$ from our emission line fitting (Cortes-Suarez et al., in preparation) using our stellar subtracted data (see Section 3.3) finding in all the cases values higher than 5 \AA , with 9.1 \AA as the lower value, suggesting that with this single criterion, our nine objects are all HERGs. For the remaining type-1 AGN, the lowest $EW([OIII])$ value is 7.6 \AA .

$L_{[OIII]}$ versus L_{Radio} – A second criterion is based on the [OIII] λ 5007 line luminosity ($L_{[OIII]}$) versus radio luminosity (L_{Radio}) diagram. Fig. 13 shows the distribution of our nine objects in filled stars. For comparison, we also show the rest of the type-1 AGN sample in empty stars for the objects with radio detection, and in empty left triangles for the upper limits. We use the $L_{[OIII]}$ obtained from our emission line fitting. Pipe3D does not report a direct measure of the [OIII] flux, and the derived one from other emission lines associated with broad components may introduce large uncertainties. The dashed line (black) is the lower limit for

the distribution of HERGs, such that with these criteria, sources below this limit can be classified as LERGs. The different colours emphasize our empirical classification (purple for AGN-dominated, green for intermediate and blue for host-dominated spectra).

This diagram identifies six HERGs and three LERGs. In the HERG domain, we find one AGN-dominated, one intermediate type, and four host-dominated types. In the LERG domain, we find three host-dominated types, two of them showing radio jets (Fig. 16).

Eddington ratio – A third criterion takes into account the accretion rate. Differences between LERGs and HERGs seems to be related to the Eddington-scaled accretion rate, or equivalently, the Eddington ratio, with the ADAF mode occurring when the accretion rate is well below the Eddington limit (e.g. Narayan & Yi 1995; Kollmeier et al. 2006; Trump et al. 2011). Best & Heckman (2012) estimated the Eddington-scaled accretion rate by comparing the total energetic output of the black hole, calculated as the sum of the radiative luminosity and the jet mechanical luminosity, with the Eddington luminosity. On the other hand, the Eddington ratio, defined as the ratio between the bolometric and Eddington luminosities (L_{bol}/L_{Edd}), considers only the radiative luminosity. HERGs typically accrete at a rate between 1 and 10 per cent of Eddington rate, while LERGs predominantly accrete at rates below one per cent of Eddington rate (Best & Heckman 2012). The dependence between the radio emission and the accretion rate has also been studied in quasars at low and high z , up to 3, showing similar results (Sulentic et al. 2000; Shen & Ho 2014; Marziani et al. 2018, and references therein). In particular, for low z quasars ($z < 0.8$) lower black hole mass objects in the range 10^6 – $10^7 M_{\odot}$ showing optical spectra dominated by low ionization emission lines (such as FeII or the Balmer lines), almost no high ionization emission lines (such as [OIII]), have the highest Eddington ratios, with no radio dominance (Marziani et al. 2003; Ganci et al. 2019). In the other extreme, quasars with black hole masses $\sim 10^9 M_{\odot}$ are dominated by high ionization emission lines, showing broadest permitted lines, lowest Eddington ratios, and radio emission.

The bolometric luminosity of each radio source was estimated from the observed luminosity of the [OIII] λ 5007 emission line, using the bolometric correction $L_{bol} = C_{[OIII]} L_{[OIII]}$, where $C_{[OIII]} = 142$ for AGN with $\log L_{[OIII]} = 40$ – 42 (Lamastra et al. 2009). We adopt the uncertainty ~ 0.4 dex on individual estimates of the bolometric radiative luminosity, from the scatter around the L_{bol} versus $L_{[OIII]}$ relation (Heckman et al. 2004).

The Eddington luminosity is $L_{Edd} = 1.3 \times 10^{31} M_{BH}/M_{\odot} W$, with an intrinsic scatter less than 0.3 dex. The black hole mass was estimated from the velocity dispersion of the galaxy σ , as measured by Aquino-Ortiz et al. (2018) and then using the well-established $M_{BH} - \sigma_*$ relation of Tremaine et al. (2002), $\log(M_{BH}/M_{\odot}) = \alpha + \beta \log(\sigma_*/200 \text{ km s}^{-1})$, where ($\alpha, \beta = 7.67 \pm 0.115, 4.08 \pm 0.751$) for barred active galaxies and ($\alpha, \beta = 8.19 \pm 0.087, 4.21 \pm 0.44$) for non-barred active galaxies (e.g. Graham 2008; Gültekin et al. 2009). We do not consider M_{BH} computations for seven AGN since the reported velocity dispersion values are below 70 km s^{-1} , the resolution limit of MaNGA data. A visual inspection of those seven objects shows that their spectra are AGN-dominant type where the absence of prominent absorption lines can lead to underestimate the velocity dispersion.

Fig. 14 shows the Eddington ratio distributions for the complete type-1 AGN sample. The segregation in terms of our Host, Intermediate and AGN dominated empirical classification is also clear and gradual. On one extreme the AGN-dominated hosts (purple bars)

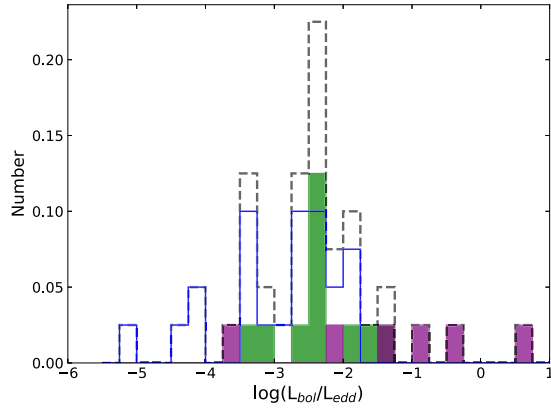


Figure 14. The distribution of Eddington-scaled accretion rates for the type-1 AGN sample (black dashed line). We also show the distribution of each type-1 AGN group defined in Section 5.1, purple bars for AGN dominant, green bars for Intermediate, and blue bars for galaxy dominant.

show the higher Eddington-scaled accretion rates, while on the other, the Host-dominated types (blue bars) show the lower accretion rates, with the Intermediate types (green bars) in between these extremes. For the case of the 9 objects, one of them could not be classified for not having M_{BH} estimation. The resulting division between the two populations is: 2 HERGs and 6 LERGs, separated by $\log(L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}) \sim -3$. We used this limit considering the observed separation in our distribution together with the LERG/HERG distribution shown in the fig. 6 of Best & Heckman (2012). Since the results of each criterion shows different fraction of HERG/LERG populations, we decided to include a fourth criterion.

Buttiglione et al. (2010) proposed a classification based on the emission line excitation properties of galaxies by defining an ‘excitation index’ (EI) parameter, combining four emission line ratios: $\text{EI} = \log([\text{O III}]/\text{H}\beta) - \frac{1}{3}[\log([\text{N II}]/\text{H}\alpha) + \log([\text{S II}]/\text{H}\alpha) + \log([\text{OI}]/\text{H}\alpha)]$. They demonstrate that this parameter is bimodal and use it to classify galaxies, dividing the low excitation (LE) and high excitation (HE) populations at a value of $\text{EI} = 0.95$.

According to this diagram and using the emission line estimations from Pipe3D, we found 4 high excitation galaxies and 4 low excitation galaxies. Fig. 15 shows the location of these objects and, for illustration, we also show the rest of the type-1 AGN sample in empty stars. All the LE objects are host-dominated AGN. Among the LE objects, we identify two extended radio sources (stars inside circles in Fig. 13). A third object with extended radio emission it is expected to share the same LE region, however not all of its emission line data is reported.

5.4.3 HERGs and LERGs objects

Using the four criteria described in the last section, we proceed to characterize our nine objects as HERGs or LERGs. A galaxy is assigned as HERG if it meets two of the three criteria of Best & Heckman (2012) and it is classified as HE in Fig. 15 otherwise, it is assigned as LERG. According to this, we identify 5 HERGs and 4 LERGs (column 11, Table 4).

The HERG/LERG fraction found agrees with the number of galaxies that shows radio jets. The three AGN with the highest NVSS radio flux density shown in Figs 13–15 as blue stars in circles are 1–594493,

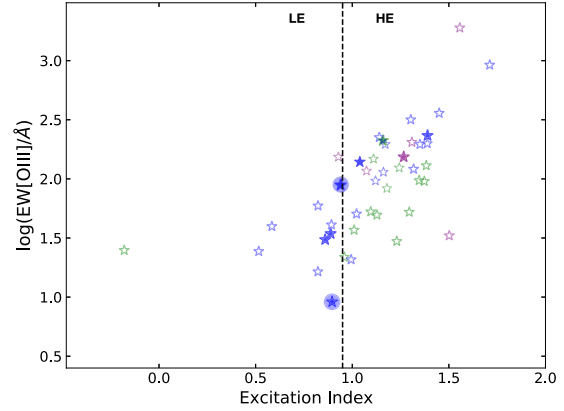


Figure 15. $[\text{O III}]\lambda 5007$ versus the excitation index (EI) plane. The dashed line is the Buttiglione et al. (2010) limit between high excitation galaxies (>0.95) and the low excitation galaxies (<0.95). Type-1 AGNs are shown as AGN dominant (purple), galaxy dominant (blue), and intermediate (green).

1–604860, and 1–71872, were classified as LERGs. Fig. 16 is a mosaic showing their corresponding FIRST images. The images show clear evidence radio jet structures powered by the active nucleus, in agreement with the definition of LERGs. The three galaxies with radio jets are of the host-dominated type according to our empirical classification. The identification of an additional LERG candidate (1–37633) in Fig. 13 may also suggest the presence of radio jets in its radiocontinuum images, however we do not find visual evidence on the FIRST image. This candidate also belongs to the host-dominated type.

According to the radio luminosity functions, LERGs dominate at radio luminosities below $L_{20\text{cm}} \sim 10^{26} \text{ W Hz}^{-1}$ and HERGs become dominant above this value. However, Best & Heckman (2012) found that both classes can be found in all luminosities. We also agree with this result since, in Fig. 13, we show that our higher value of $L_{20\text{cm}}$ is around $10^{25} \text{ W Hz}^{-1}$ indicating that our HERGs are also found in the low luminosity regime. Moreover, the number of HERGs could increase if we consider the 14 SF radio sources since all can classify as HERGs with the same criteria of radio characterization.

Comparing our results with those found by Comerford et al. (2020), who in turn used the Best & Heckman (2012) catalogue as described in Section 4.2 we find five coincidences: 2 HERGs, 1 LERG, and two unclassified. One of their HERGs is catalogued as LERG by us. This reclassification corresponds to 1–6048960 and is in agreement with the presence of jets (middle panel, Fig. 16). The two objects unclassified by them, we considered them as HERGs. Since we could classify 9 of the 23 radio-emitting galaxies (including the seven coincidences), our type-1 AGN sample adds information for six radio sources to the Comerford et al. (2020) radio MaNGA catalogue.

5.4.4 Radio loudness

One of the common criteria to classify the radio loudness is the Kellerman’s ratio $R_K = f_{\nu, \text{radio}}/f_{\nu, \text{opt}}$ (Kellermann et al. 1989), defined as the ratio of the radio flux density at 5 GHz and the optical flux density in the B band. The radio-loud (RL) versus radio-quiet (RQ) limit set by Kellermann et al. (1989) is $R_K = 10$.

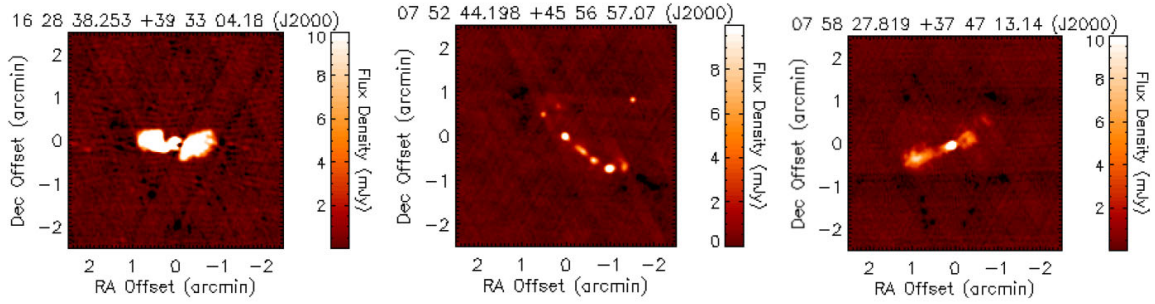


Figure 16. FIRST images of the radio sources with observable jets. From left to right, 1-594493, 1-604860, and 1-71872.

Since the optical flux is estimated at 4400 Å and our AGN sample is mostly intermediate and host-dominated types (see Section 5.1), optical flux estimations could be biased by the stellar contribution to the AGN continuum. But, if we look at the upper panel of Fig. 12, where $H\alpha_{BC}$ was used (instead the AGN continuum at 4400 Å), the three objects with extended radio emission of Fig. 16 are well separated.

Other option is to classify RL/RQ objects using the X-ray radio-loudness parameter $R_X = L_{\nu, \text{radio}}/L_{\nu, 2-10 \text{ keV}}$ (Terashima & Wilson 2003), defined as the ratio of the radio luminosity at 5 GHz and the X-ray luminosity in the 2–10 keV band. Indeed, the X-ray luminosity is ideal to avoid extinction problems that normally occur in the optical band. Objects with $\log(R_X) > -4.5$ are considered RL galaxies, while RQ galaxies have $\log(R_X)$ values lower than -4.5 . Table 4 shows the estimated $\log(R_X)$ (Column 8) values from FIRST, NVSS, and *ROSAT* data. Applying this criterion to the objects whose radio emission was classified as AGN in Section 5.4.1, we find six radio-loud galaxies (and one in the borderline), with the higher values being coincident with the LERGs showing radio jets. In both cases, whether using optical or X-ray data, results indicate that our sample is dominated by radio quiet high excitation AGN.

5.5 Optical versus multiwavelength correlations

With fluxes available at different wavelengths, we estimate their corresponding luminosities and explore the correlations of various indicators of AGN emission power in our sample of type-1 AGN. To this purpose, we estimate specific L_λ luminosities in $H\alpha_{BC}$ and [O III] emission lines as well as in the *WISE*, radio continuum, and X-ray wavelengths as follows:

$$L_\lambda = 4\pi D_L^2 \lambda F_\lambda, \quad (3)$$

where D_L is the luminosity distance and F_λ is the flux retrieved at different wavelengths from each catalogue.

As mentioned above, the [O III] and $H\alpha_{BC}$ fluxes were estimated from our emission line fitting (Cortes-Suarez et al., in preparation) using our host galaxy subtracted data. Values of $L_{[\text{O III}]}$ and $L_{H\alpha_{BC}}$ are reported in Table 3 (Columns 9 and 10).

The *WISE* data are reported in Vega magnitudes (m_{vega}), so the flux density (in Jansky) is:

$$F_\nu [\text{Jy}] = F_{\nu 0} \times 10^{-m_{\text{vega}}/2.5}, \quad (4)$$

where $F_{\nu 0}$ is the zero magnitude flux density of Vega for each *WISE* band (309.540 (W1), 171.787 (W2), 31.674 (W3), and 8.363 (W4)).

The IR spectral slope was considered equal one.⁵ The FIRST and NVSS data are reported in flux density units (mJy). The *ROSAT* data are reported in count rates so we applied a factor of $1.08 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2}$ to convert them into fluxes (Boller et al. 2016). Our estimates to the corresponding luminosities are reported in Table 4 (Columns 2 to 7).

Fig. 17 shows the correlations of the optical indicators of the AGN power, $\log L_{H\alpha_{BC}}$ and $\log L_{[\text{O III}]}$ with the continuum luminosity $\log L_\lambda$ ($\lambda = \text{NIR}$ and MID-IR, x-Ray, and NVSS/FIRST). In all panels the black dashed line represents the one-to-one correlation. The sample is divided again in AGN-dominant (purple marks), intermediate (green marks), and galaxy-dominant (blue marks).

X-rays. The fourth panel (from bottom to top) shows the relation of the optical indicators of AGN luminosity versus X-ray continuum luminosity from 0.1 to 2.4 KeV. Given the physical region where the emission from these indicators come from, a tight correlation is expected. The non-detections in the observations of the emission properties of galaxies gives valuable information, and it is important to take them into account in order to avoid biases in the interpretation of possible relations. We have adopted X-ray upper limits coming from the X-ray upper limit server⁶ and use survival analysis methods combining detections and non-detections (censored data, see Isobe, Feigelson & Nelson 1986; Feigelson & Babu 2012). More precisely, we used the Buckley–James (B–J) method for estimating the regression parameters (Buckley & James 1979), which is robust when the distribution of points around the regression line is not Gaussian with no formal restriction about the random distribution of censored points. As shown by James & Smith (1984), the Buckley–James estimator of slope is asymptotically correct under a wide variety of conditions.

The $L_{H\alpha_{BC}} - X\text{-ray}$ correlation ($\rho = 0.70$) is consistent with that expectation despite of the low X-ray detection fraction (about 55). We point out that (i) most of the non-detections correspond to the Host-dominated types, (ii) loiii luminosities also show a good linear correlation ($\rho = 0.66$) despite this narrow emission line could be contaminated by other sources (post-AGB, shocks, SF) and (iii) the X-ray detections corresponding to the AGN-dominated types tend to follow closer the one-to-one relations. The three galaxies with radio-jets now share the observed trend with the rest of the galaxies.

⁵In the slope range from -1 to 2, the differences in the derived flux are below 0.7 per cent.

⁶<http://xmmults.esac.esa.int/upperlimitserver/>

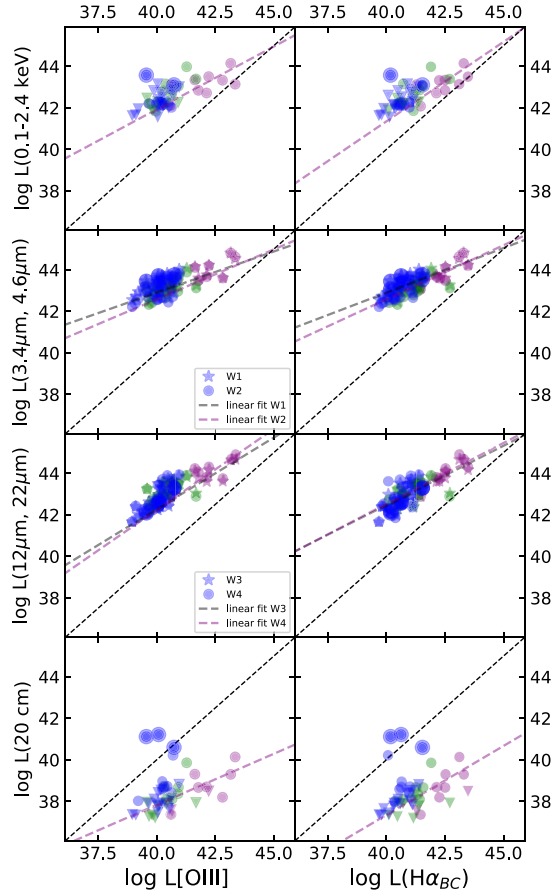


Figure 17. Optical luminosities versus other multiwavelength luminosities. The sample was separated in AGN dominant (purple), intermediate (green), galaxy dominant (blue circles), and with observable jet (with shadow circle). In the case of non-detection in the radio and X-ray data, upper limits were estimated and shown as downwards triangles. The black dashed lines are the unity relation. The purple dashed line is a linear fit (see the text for details).

Near infrared. The third panel (from bottom to top) shows the correlation of the optical indicators of the AGN power with the NIR (W1 and W2) *WISE* luminosities. Given the aperture sizes in the W1 and W2 flux measurements, and their sensitivity to the continuum from old stellar populations, these luminosities should be proportional to the host stellar mass. On the other hand, our optical luminosity indicators are good tracers of the AGN power and thus proportional to the mass of the black hole. Therefore, in principle, a correlation should be expected, reflecting a scaling relation between central black hole mass and host galaxy stellar mass (e.g. Reines & Volonteri 2015). We find good and tighter correlations with $L_{H\alpha BC}$ ($\rho > 0.78$) than those with $L_{[OIII]}$ ($\rho > 0.74$). This may be due to the fact that the BLR is closer than the [OIII] emitting region (NLR) to the ionizing source. We also find a clear segregation in terms of our empirical classification with AGN-dominated types lying in the high luminosity region and the Host-dominated types lying in the corresponding low luminosity region, with the Intermediate types

Table 5. Pearson correlation coefficients for Fig. 17 of the best-fitting linear regression line, $Y = aX + b$. L_{XR} is the luminosity at 0.1–2.4 keV, L_{W1} and L_{W2} are the NIR luminosities, L_{W3} and L_{W4} are the FIR luminosities, and L_{radio} is the luminosity at 20 cm. The parenthesis values do not include the 3 AGNs with observable jets. For the cases of L_{XR} and L_{radio} we calculated using Buckley–James linear regression method to consider the upper limits. This method only gives the error of the slope.

Variables	ρ -value	a	b
$\log(L_{XR})$ versus $\log(L_{[OIII]})$	0.66	0.61 ± 0.11	17.71
$\log(L_{W1})$ versus $\log(L_{[OIII]})$	0.74	0.40 ± 0.05	27.07 ± 2.12
$\log(L_{W2})$ versus $\log(L_{[OIII]})$	0.81	0.48 ± 0.05	23.37 ± 2.08
$\log(L_{W3})$ versus $\log(L_{[OIII]})$	0.81	0.69 ± 0.06	14.64 ± 2.38
$\log(L_{W4})$ versus $\log(L_{[OIII]})$	0.82	0.78 ± 0.06	11.03 ± 2.53
$\log(L_{radio})$ versus $\log(L_{[OIII]})$	0.33 (0.60)	0.50 ± 0.23	17.71
$\log(L_{XR})$ versus $\log(L_{H\alpha BC})$	0.70	0.77 ± 0.14	10.70
$\log(L_{W1})$ versus $\log(L_{H\alpha BC})$	0.78	0.43 ± 0.05	25.69 ± 2.14
$\log(L_{W2})$ versus $\log(L_{H\alpha BC})$	0.83	0.52 ± 0.05	21.74 ± 2.13
$\log(L_{W3})$ versus $\log(L_{H\alpha BC})$	0.79	0.57 ± 0.07	19.61 ± 2.69
$\log(L_{W4})$ versus $\log(L_{H\alpha BC})$	0.75	0.59 ± 0.08	19.06 ± 3.18
$\log(L_{radio})$ versus $\log(L_{H\alpha BC})$	0.26 (0.47)	0.83 ± 0.29	3.07

in between. The three galaxies with radio-jets also follow the trend dictated by the rest of the galaxies.

Mid infrared. The second panel (from bottom to top) of Fig. 17 shows the correlation of the optical indicators of the AGN luminosity and the MIR (W3 and W4) *WISE* luminosities. Since the optical emission emerging from the broad and narrow line regions can be partially absorbed by the hot dust surrounding the central region and re-emitted in the infrared the correlation is also expected. As shown in Table 5, the Pearson correlation coefficients after linear fittings confirm strong correlations, exceeding $\rho > 0.75$ in the case of $L_{H\alpha BC}$ and tighter ($\rho > 0.81$) in the case of $L_{[OIII]}$, also with less scatter than the other correlations. This result confirms that the MIR luminosity is also a good indicator of the intrinsic AGN power. A clear segregation is seen with the AGN-dominated types lying in the region of higher optical and *WISE* luminosities, while the host-dominated types lying, in contrast, in the region of low optical and *WISE* luminosities, with the intermediate types in between. The three galaxies with radio-jets follow the observed trend dictated by the other galaxies. The outlier in the $L_{[OIII]}$ versus L_{MIR} diagram is 1–43214, an AGN-dominated object that seems to have a nuclear starburst (Lakićević, Kovačević-Dojčinović & Popović 2017).

Radio. The first lower panel shows the relation of the optical indicators of AGN luminosity versus radio-continuum luminosity at 20 cm ($L_{20\text{cm}}$ or L_{radio}). Filled circles are for radio-detections, downwards triangles indicate upper limits and the larger filled circles with an outer ring are three galaxies showing radio-jets (Fig. 16). The fit to the observed data with the (B–J) method is shown (purple dashed line) and reported in Table 5. Notice that, if the three galaxies with extended radio emission are omitted in both optical indicators, the (B–J) fit provides a correlation $\rho = 0.47$ for $L_{H\alpha BC}$ and $\rho = 0.60$ for $L_{[OIII]}$. As shown in the previous section, the position of sources in this diagram reflects the variation of the radio properties (e.g. Best & Heckman 2012). The amplitude of $\log L_{20\text{cm}}$ range expands towards the sources with radio-jets that significantly depart from the rest of the sources. In these plots, we can appreciate a trend (although with some scatter) of AGN-dominated galaxies having higher optical and radio luminosities, in contrast to host-dominated AGN having lower

optical and radio luminosities, with the Intermediate types in between these.

Table 5 shows the results of the Pearson correlation coefficient after fitting the observed distributions of optical and multiwavelength luminosities. We also include the slopes and intercepts of our best-fitting linear regression lines. We can see that all slopes are positive and lower than 1, which is indicative that the luminosity of [O III] or $H\alpha_{BC}$ increases faster than the other wavelengths. Other authors have previously found these types of correlations (e.g. LaMassa et al. 2010). On the other hand, we observe that the slopes of the X-ray and radio correlations are higher for $H\alpha_{BC}$. In comparison, the slopes of the correlations with [O III] are higher for the MIR. The difference in the slopes can be explained in terms of the distance from the BLR or NLR to the emission regions of the other wavelengths (the hot corona, the dusty torus or the jets). For the NIR, we have found that the increment of these luminosities is almost half of the increase in the optical luminosities.

From Fig. 17, we can see that for X-ray and IR relations, the AGN dominant group is closer to a 1:1 relation than the host galaxy dominant or intermediate groups. This can be explained by the stellar contamination since [O III] could be strongly affected by the host galaxy emission. When we compare both upper panels, the [O III] – X-ray relation is shallower than the $H\alpha_{BC}$ – X-ray due that the nuclear [O III] could be contaminated with emission from the host galaxy light or star formation processes. The IR relations are stronger than the other wavelengths. However, we can see that NIR relations are shallower than MIR, despite the use of [O III] or $H\alpha_{BC}$, since W3 and W4 are more related to the nuclear emission of the AGN. In the case of the radio emission, only jetted galaxies (6 per cent of our sample) are closer to the 1:1 slope. We consider that the main differences in the slopes found in this work for each wavelength lie both in the group of AGNs used (host dominant, intermediate, and AGN dominant) and in the accuracy of the subtraction of the stellar component.

6 SUMMARY AND CONCLUSIONS

A main goal of the MaNGA survey has been to map the detailed composition and kinematic structure of 10 000 nearby galaxies using IFU spectroscopy. Its unprecedented detail allows us for a more detailed census of active galactic nuclei located at the centers of galaxies over a wide range of physical parameters.

We present a method for identifying type-1 AGN, using flux ratios to look for the $H\alpha$ broad emission line. Considering the central three arcsec integrated spectra of the MaNGA DR15 galaxies, we estimated the fluxes in two bands placed at the blue and red side near the expected position of the broad $H\alpha$ line. The line flux ratios are between the bands and the adjacent continuum. The position of the bands and the continuum take into account possible $H\alpha_{BC}$ asymmetries and the presence of stellar absorption lines. Then using the statistical tool boxplot-whiskers diagram, we identified and separated type-1 AGN candidates from quiescent galaxies.

Our selection method was tested, on one side, in the host galaxy subtracted spectra from the MaNGA DR15, and on the other side, in the observed spectra from the SDSS DR7 sample. For the case where the HG was subtracted, it was proved that even for the lowest S/N of our sample ($S/N = 26$, and 11 for the candidate objects), our method is good enough to detect the broad $H\alpha$ component, so we can omit the HG-subtraction, avoiding the bias introduced with

such procedures. It seems that the identification of the objects could depend on the line intensity, as considered by Liu et al. (2019) where they propose a lower limit for the $H\alpha_{BC}$ flux of $10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Another possibility is that the minimum S/N of the sample affects the upper whisker limit, as in the case of SDSS DR7, where the minimum $S/N = 1$. The results of the broad AGN identification were also compared with those from other methods applied to the SDSS DR7 and MaNGA spectroscopic data.

Our main results are as follows:

(i) We identified 47 broad emission line AGN from a sample of ~ 4700 galaxies in the DR15 sample, amounting to 1 per cent up to $z \sim 0.13$. The broad $H\alpha_{BC}$ luminosity of this sample spans from $10^{38} < LH\alpha < 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$, and $\log FWHM(H\alpha_{BC}) \sim 3-4$ covering a range of Eddington ratio -4.18 to -0.34 in logarithm values. The details of the broad component measurements will be presented in Cortes-Suárez et al. (in preparation).

(ii) The result of our selection method was compared with those from other methods based on the BPT and WHAN diagrams using MaNGA data as well as the SDSS DR7 spectroscopic data. We lose 66 per cent of our sample using the BPT diagrams, and 11 per cent using the WHAN diagram (considering a threshold of 3 \AA). Applying our method in the DR7 spectra that match with the MPL-7 objects, we missed 17 per cent of the galaxies. The missing eight objects, two do not have DR7 spectra, two are changing look objects, and the other four have a weak $H\alpha_{BC}$.

(iii) In the comparison with type-1 AGN catalogues built with the SDSS DR7 data base and with different MPL versions of MaNGA, we found that our method selects more efficiently the broad line galaxies. The percentage of detected objects for different authors on the basis of equal samples using SDSS DR7 are: Liu et al. (2019) 81 per cent, Oh et al. (2015) 65 per cent, Stern & Laor (2012) 67 per cent. Using MaNGA data: Rembold et al. (2017) 36 per cent, Sánchez et al. (2018) 21 per cent, Wylezalek et al. (2018) 26 per cent, and Comerford et al. (2020) 72 per cent.

(iv) We classify the AGN-HG contribution empirically using spectral indexes into AGN-dominated (19 per cent), Intermediate (30 per cent) and Host-dominated types (51 per cent), evidencing different levels of nuclear activity contributing in the observed spectra.

(v) Using the [O III] $\lambda 5007$ versus excitation index plane, we find that our sample is composed of 4 HE and 4 LE galaxies.

(vi) From the photometric information in the IR and radio wavelengths, we identify our type-1 AGN sample in the WISE colour–colour diagram finding a good agreement between AGN-HG dominance and WISE colours, bluer for AGN-dominated and redder for HG dominated objects. In the radio emission characterization, we find 5 HERGs and 4 LERGs, three of them showing visible evidence of radio-jets in the FIRST images.

(vii) In the multiwavelength analysis, luminosity indicators of the AGN power in the X-ray, optical, IR, and radio ranges were confronted, finding that $L(H\alpha_{BC})$ provides similar correlations than $L[O III]$. The correlation with the broad emitting region is expected, given that the proximity of this region is best related to nuclear activity. Our type-1 AGN sample also shows segregation in these diagrams when our empirical classification is considered.

The identification of this type-1 AGN sample, the analysis of their most basic properties combined with the multiparametric space of the MaNGA data and their properties in different wavelengths, will enable further comprehensive investigations of the properties of this sample AGN, and their connection with the host galaxies.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the anonymous referee for many helpful suggestions that have significantly improved the paper. ECS acknowledges the fellowship 825458 from CONACyT. CAN acknowledges support from grant IN111422 PAPIIT UNAM, and CONACyT project Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022-320020. HMHT acknowledges support from UC MEXUS-CONACyT grant CN-17-128.

Funding for the Sloan Digital Sky Survey IV has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation, the U.S. Department of Energy Office of Science, and the Participating Institutions. SDSS acknowledges support and resources from the Center for High-Performance Computing at the University of Utah. The SDSS web site is www.sdss.org.

SDSS is managed by the Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions of the SDSS Collaboration including the Brazilian Participation Group, the Carnegie Institution for Science, Carnegie Mellon University, Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian (CfA), the Chilean Participation Group, the French Participation Group, Instituto de Astrofísica de Canarias, The Johns Hopkins University, Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (IPMU) / University of Tokyo, the Korean Participation Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Leibniz Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA Heidelberg), Max-Planck-Institut für Astrophysik (MPA Garching), Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik (MPE), National Astronomical Observatories of China, New Mexico State University, New York University, University of Notre Dame, Observatorio Nacional / MCTI, The Ohio State University, Pennsylvania State University, Shanghai Astronomical Observatory, United Kingdom Participation Group, Universidad Nacional Autónoma de México, University of Arizona, University of Colorado Boulder, University of Oxford, University of Portsmouth, University of Utah, University of Virginia, University of Washington, University of Wisconsin, Vanderbilt University, and Yale University. This project makes use of the MaNGA-Pipe3D dataproducts. We thank the IA-UNAM MaNGA team for creating this catalogue, and the Conacyt Project CB-285080 for supporting them.

DATA AVAILABILITY

The data underlying this article are available at the MaNGA-Pipe3D Valued Added Catalogue at <https://www.sdss.org/dr17/manga/manga-a-data/manga-pipe3d-value-added-catalog/> and http://ifs.astroscu.unam.mx/MaNGA/Pipe3D_v3.1.1/tables/. The data sets were derived from sources in the public domain using the SDSS-IV MaNGA public Data Release 15, at <https://www.sdss.org/dr15/>.

REFERENCES

Abazajian K. N. et al., 2009, *ApJS*, 182, 543
 Aguado D. S. et al., 2019, *ApJS*, 240, 23
 Alam S. et al., 2015, *ApJ*, 219, 12
 Antonucci R., 1993, *ARA&A*, 31, 473
 Aquino-Ortiz E. et al., 2018, *MNRAS*, 479, 2133
 Assef R. J. et al., 2015, *ApJ*, 804, 27
 Assef R. J., Stern D., Noirod G., Jun H. D., Cutri R. M., Eisenhardt P. R. M., 2018, *ApJS*, 234, 23
 Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R., 1981, *PASP*, 93, 5
 Bassani L., Dadina M., Maiolino R., Salvati M., Risaliti G., Della Ceca R., Matt G., Zamorani G., 1999, *ApJS*, 121, 473
 Becker R. H., White R. L., Helfand D. J., 1995, *ApJ*, 450, 559
 Best P. N., Heckman T. M., 2012, *MNRAS*, 421, 1569

Best P. N., Kauffmann G., Heckman T. M., Ivezić Ž., 2005, *MNRAS*, 362, 9
 Bica E., Alloin D., 1986, *A&AS*, 66, 171
 Boller T., Freyberg M. J., Trümper J., Haberl F., Voges W., Nandra K., 2016, *A&A*, 588, A103
 Boroson T. A., Green R. F., 1992, *ApJS*, 80, 109
 Bruzual A. G., 1983, *ApJ*, 273, 105
 Bruzual G., Charlot S., 2003, *MNRAS*, 344, 1000
 Buckley J., James I., 1979, *Biometrika*, 66, 429
 Bundy K. et al., 2015, *ApJ*, 798, 7
 Buttiglione S., Capetti A., Celotti A., Axon D. J., Chiaberge M., Macchetto F. D., Sparks W. B., 2010, *A&A*, 509, A6
 Caccianiga A. et al., 2015, *MNRAS*, 451, 1795
 Cano-Díaz M. et al., 2016, *ApJ*, 821, L26
 Cherinka B., Schulte-Ladbeck R. E., 2011, *AJ*, 142, 122
 Cid Fernandes R., Mateus A., Sodré L., Stasińska G., Gomes J. M., 2005, *MNRAS*, 358, 363
 Cid Fernandes R., Stasińska G., Schlickmann M. S., Mateus A., Vale Asari N., Schoenell W., Sodré L., 2010, *MNRAS*, 403, 1036
 Cid Fernandes R., Stasińska G., Mateus A., Vale Asari N., 2011, *MNRAS*, 413, 1687
 Cid Fernandes R. et al., 2013, *A&A*, 557, A86
 Coffey D. et al., 2019, *A&A*, 625, A123
 Comerford J. M. et al., 2020, *ApJ*, 901, 159
 Condon J. J., 1992, *ARA&A*, 30, 575
 Condon J. J., Cotton W. D., Greisen E. W., Yin Q. F., Perley R. A., Taylor G. B., Broderick J. J., 1998, *AJ*, 115, 1693
 D’Onofrio M., Marziani P., Chiosi C., 2021, *Front. Astron. Space Sci.*, 8, 157
 Dwelly T. et al., 2017, *MNRAS*, 469, 1065
 Feigelson E. D., Babu G. J., 2012, *Modern Statistical Methods for Astronomy*. Cambridge Univ. Press, Cambridge
 Ganci V., Marziani P., D’Onofrio M., del Olmo A., Bon E., Bon N., Negrete C. A., 2019, *A&A*, 630, A110
 Gandhi P., Horst H., Smette A., Höning S., Comastri A., Gilli R., Vignali C., Duschl W., 2009, *A&A*, 502, 457
 Graham A. W., 2008, *Publ. Astron. Soc. Austr.*, 25, 167
 Greene J. E., Ho L. C., 2005, *ApJ*, 630, 122
 Greene J. E., Ho L. C., 2007, *ApJ*, 670, 92
 Gültekin K. et al., 2009, *ApJ*, 698, 198
 Guo H. et al., 2016, *ApJ*, 826, 186
 Haardt F., Maraschi L., 1991, *ApJ*, 380, L51
 Hao L. et al., 2005, *AJ*, 129, 1783
 Hardcastle M. J. et al., 2019, *A&A*, 622, A12
 Heckman T. M., Kauffmann G., Brinchmann J., Charlot S., Tremonti C., White S. D. M., 2004, *ApJ*, 613, 109
 Heckman T. M., Ptak A., Hornschemeier A., Kauffmann G., 2005, *ApJ*, 634, 161
 Hickox R. C., Alexander D. M., 2018, *ARA&A*, 56, 625
 Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L., 1995, *ApJS*, 98, 477
 Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 1997, *ApJ*, 487, 568
 Huchra J., Burg R., 1992, *ApJ*, 393, 90
 Isobe T., Feigelson E. D., Nelson P. I., 1986, *ApJ*, 306, 490
 James I. R., Smith P., 1984, *Ann. Stat.*, 12, 590
 Jarrett T. H. et al., 2011, *ApJ*, 735, 112
 Jarrett T. H. et al., 2017, *ApJ*, 836, 182
 Kara E. et al., 2015, *MNRAS*, 446, 737
 Kauffmann G. et al., 2003, *MNRAS*, 346, 1055
 Kellermann K. I., Sramek R., Schmidt M., Shaffer D. B., Green R., 1989, *AJ*, 98, 1195
 Kewley L. J., Dopita M. A., Sutherland R. S., Heisler C. A., Trevena J., 2001, *ApJ*, 556, 121
 Kewley L. J., Groves B., Kauffmann G., Heckman T., 2006, *MNRAS*, 372, 961
 Kokubo M., 2015, *MNRAS*, 449, 94
 Kollmeier J. A. et al., 2006, *ApJ*, 648, 128
 Lacerda E. A. D., Sánchez S. F., Mejía-Narváez A., Camps-Fariña A., Espinosa-Ponce C., Barrera-Ballesteros J. K., Ibarra-Medel H., Lugo-Aranda A. Z., 2022, preprint ([arXiv:2202.08027](https://arxiv.org/abs/2202.08027))

- Lacerna I., Hernández-Toledo H. M., Avila-Reese V., Abonza-Sane J., del Olmo A., 2016, *A&A*, 588, A79
- Lacerna I., Ibarra-Medel H., Avila-Reese V., Hernández-Toledo H. M., Vázquez-Mata J. A., Sánchez S. F., 2020, *A&A*, 644, A117
- Lakićević M., Kovačević-Dojčinović J., Popović L. Č., 2017, *MNRAS*, 472, 334
- LaMassa S. M., Heckman T. M., Ptak A., Martins L., Wild V., Sonnentrucker P., 2010, *ApJ*, 720, 786
- Lamastra A., Bianchi S., Matt G., Perola G. C., Barcons X., Carrera F. J., 2009, *A&A*, 504, 73
- Laor A., 2003, *ApJ*, 590, 86
- Law D. R. et al., 2015, *AJ*, 150, 19
- Liu H.-Y., Liu W.-J., Dong X.-B., Zhou H., Wang T., Lu H., Yuan W., 2019, *ApJS*, 243, 21
- Lu H., Zhou H., Wang J., Wang T., Dong X., Zhuang Z., Li C., 2006, *AJ*, 131, 790
- Lutz D., Maiolino R., Spoon H. W. W., Moorwood A. F. M., 2004, *A&A*, 418, 465
- MacLeod C. L. et al., 2016, *MNRAS*, 457, 389
- Mainzer A. et al., 2014, *ApJ*, 792, 30
- Malkan M. A., Sargent W. L. W., 1982, *ApJ*, 254, 22
- Marziani P., Zamanov R. K., Sulentic J. W., Calvani M., 2003, *MNRAS*, 345, 1133
- Marziani P., Sulentic J. W., Negrete C. A., Dultzin D., Zamfir S., Bachev R., 2010, *MNRAS*, 409, 1033
- Marziani P. et al., 2018, *Front. Astron. Space Sci.*, 5, 6
- Massaro F., D'Abrusco R., Tosti G., Ajello M., Gasparri D., Grindlay J. E., Smith H. A., 2012, *ApJ*, 750, 138
- Mateos S. et al., 2012, *MNRAS*, 426, 3271
- Mateos S., Alonso-Herrero A., Carrera F. J., Blain A., Severgnini P., Caccianiga A., Ruiz A., 2013, *MNRAS*, 434, 941
- Merloni A. et al., 2015, *MNRAS*, 452, 69
- Mingo B. et al., 2016, *MNRAS*, 462, 2631
- Narayan R., Yi I., 1995, *ApJ*, 452, 710
- Netzer H., 2013, *The Physics and Evolution of Active Galactic Nuclei*. Cambridge Univ. Press, Cambridge
- Oh K., Sarzi M., Schawinski K., Yi S. K., 2011, *ApJS*, 195, 13
- Oh K., Yi S. K., Schawinski K., Koss M., Trakhtenbrot B., Soto K., 2015, *ApJS*, 219, 1 (Oh15)
- Oh K. et al., 2018, *ApJS*, 235, 4
- Onori F. et al., 2017, *MNRAS*, 464, 1783
- Padovani P. et al., 2017, *A&A Rev.*, 25, 2
- Reines A. E., Volonteri M., 2015, *ApJ*, 813, 82
- Rembold S. B. et al., 2017, *MNRAS*, 472, 4382
- Ross N. P. et al., 2018, *MNRAS*, 480, 4468
- Sánchez S. F. et al., 2016, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 52, 21
- Sánchez S. F. et al., 2018, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 54, 217
- Sánchez S. F., Lacerda E., Mejía-Narvaez A., Espinosa-Ponce C., Lopez C., Ibarra-Medel H., Camps-Farina A., Barrera-Ballesteros J. K., 2021, in *Extragalactic Spectroscopic Surveys: Past. European Southern Observatory, Garching bei München*, p. 29
- Sanders D. B., Mirabel I. F., 1996, *ARA&A*, 34, 749
- Sani E., Lutz D., Risaliti G., Netzer H., Gallo L. C., Trakhtenbrot B., Sturm E., Boller T., 2010, *MNRAS*, 403, 1246
- Schawinski K., Thomas D., Sarzi M., Maraston C., Kaviraj S., Joo S.-J., Yi S. K., Silk J., 2007, *MNRAS*, 382, 1415
- Scoville N. et al., 2007, *ApJS*, 172, 1
- Secret N. J., Dudik R. P., Dorland B. N., Zacharias N., Makarov V., Fey A., Frouard J., Finch C., 2015, *ApJS*, 221, 12
- Shen Y., Ho L. C., 2014, *Nature*, 513, 210
- Smee S. A. et al., 2013, *AJ*, 146, 32
- Stern J., Laor A., 2012, *MNRAS*, 423, 600 (SL12)
- Stern D. et al., 2012, *ApJ*, 753, 30
- Suh H. et al., 2017, *ApJ*, 841, 102
- Suh H. et al., 2019, *ApJ*, 872, 168
- Sulentic J. W., Marziani P., Dultzin-Hacyan D., 2000, *ARA&A*, 38, 521
- Terashima Y., Wilson A. S., 2003, *ApJ*, 583, 145
- Thomas N., Ge J., Grieves N., Li R., Sithajan S., 2016, *PASP*, 128, 045003
- Tody D., 1986, in Crawford D. L., ed., *Proc. SPIE Conf. Ser. Vol. 627, Instrumentation in Astronomy VI*. SPIE, Bellingham, p. 733
- Tran H. D., 2010, *ApJ*, 711, 1174
- Tran H. D., Lyke J. E., Mader J. A., 2011, *ApJ*, 726, L21
- Tremaine S. et al., 2002, *ApJ*, 574, 740
- Trump J. R. et al., 2011, *ApJ*, 733, 60
- Urry C. M., Padovani P., 1995, *PASP*, 107, 803
- Vanden Berk D. E. et al., 2001, *AJ*, 122, 549
- Wake D. A. et al., 2017, *AJ*, 154, 86
- Wes McKinney, 2010, in van der Walt S., Millman J., eds, *Proceedings of the 9th Python in Science Conference. SciPy 2010*, Austin, TX, p. 56
- Westfall K. B. et al., 2019, *AJ*, 158, 231
- Worthey G., Faber S. M., Gonzalez J. J., Burstein D., 1994, *ApJS*, 94, 687
- Wright E. L. et al., 2010, *AJ*, 140, 1868
- Wylezalek D., Zakamska N. L., Greene J. E., Riffel R. A., Drory N., Andrews B. H., Merloni A., Thomas D., 2018, *MNRAS*, 474, 1499
- Wylezalek D., Flores A. M., Zakamska N. L., Greene J. E., Riffel R. A., 2020, *MNRAS*, 492, 4680
- Yan R. et al., 2016a, *AJ*, 151, 8
- Yan R. et al., 2016b, *AJ*, 152, 197
- Yip C., Connolly A., vanden Berk D., Ma Z., Frieman J., Subbarao M., Szalay A., 2004, in Richards G. T., Hall P. B., eds, *ASP Conf. Ser. Vol. 311, AGN Physics with the Sloan Digital Sky Survey*. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 17
- Zamfir S., Sulentic J. W., Marziani P., Dultzin D., 2010, *MNRAS*, 403, 1759

SUPPORTING INFORMATION

Supplementary data are available at [MNRAS](https://academic.oup.com/mnras/article/514/3/3626/6559823) online.

Table S1. Main properties of the 236 type-2 AGN.

Please note: Oxford University Press is not responsible for the content or functionality of any supporting materials supplied by the authors. Any queries (other than missing material) should be directed to the corresponding author for the article.

APPENDIX A: TYPE-2 AGN LIST

In Section 3.3 is described the selection of AGN using the classical BPT diagrams (Baldwin et al. 1981) and WHAN diagram (Cid Fernandes et al. 2011). Here we present the remaining list of AGN classified as type-2 found with the flux ratio method and using the Sánchez et al. (2018) criterion.

Table A1. Main properties of the 236 type-2 AGN. ^a The magnitude corresponds to the *g* band provided by SDSS (DR14). ^b The redshift and [O III] luminosity was obtained by Pipe3D (Sánchez et al. 2016, 2021). ^c Stellar masses from NSA catalog derived from Sersic fluxes. ^d The $H\alpha_{BC}$ luminosity was obtained from our emission lines fitting (Cortes-Suarez et al., in preparation). Note. The entire type-2 AGN Catalogue will be available online.

SDSS-ID (1)	MaNGA-ID (2)	Plate-IFU (3)	R.A. (4)	Dec (5)	m_g^a (6)	z^b (7)	M_*^c (M_\odot) (8)
J162640.78+274639.1	1-561297	9025-6101	246.6700	27.7775	−20.97	0.079	10.89
J162926.70+293228.0	1-272639	9025-6104	247.3613	29.5411	−20.97	0.053	10.81
J163617.87+440808.5	1-93793	9026-12701	249.0745	44.1357	−20.64	0.031	10.79
J163716.42+442505.6	1-94784	9026-9101	249.3184	44.4182	−20.80	0.031	10.72
J161211.26+293426.8	1-561325	9028-9102	243.0469	29.5741	−21.19	0.054	11.03
J162852.06+424843.2	1-135285	9029-12704	247.2170	42.8120	−20.28	0.032	10.53
J162954.43+413616.3	1-569178	9029-9101	247.4768	41.6045	−20.27	0.031	10.67
J161116.61+450716.7	1-209772	9031-12703	242.8192	45.1213	−20.18	0.055	10.52
J154137.28+441619.9	1-247804	9035-1901	235.4053	44.2722	−17.39	0.037	9.44
J155627.25+420604.1	1-248003	9036-3701	239.1136	42.1011	−20.78	0.039	10.84
...

APPENDIX B: CHANGING-LOOK AGN CANDIDATES

In Fig. B1 we report two examples of broad $H\alpha$ and $H\beta$ type-1 AGN that were not detected by Oh15 and SL12 but whose broad $H\alpha$ components have significantly changed or are now visible in the MaNGA DR15 data.

Since there is a time base of 8–16 yr between observations, we speculate for a change in the physical conditions associated to the emission of these lines or even a turning off of the nuclear activity in these objects. An example is shown in Fig. B2 where we compare four different single-epoch spectra for the MaNGA galaxy 1-604860. The SDSS DR7 spectrum (black) was observed in 2004, the SDSS DR12 (purple) in 2013, the MaNGA spectrum (blue) in 2016, and an additional spectrum obtained at the Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir (yellow; OAN-SPM, México) in 2019. A direct inspection shows that the narrow lines fluxes change while the broad components show different level of prominence and shape

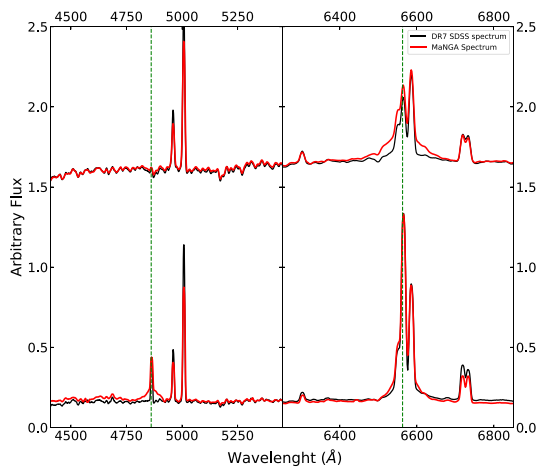


Figure B1. Two examples of possible changing-look AGN. The red spectra comes from DR7 SDSS spectroscopic data and black spectra from MaNGA data. Left-hand panel correspond to the $H\beta$ region and right-hand panel to the $H\alpha$ region.

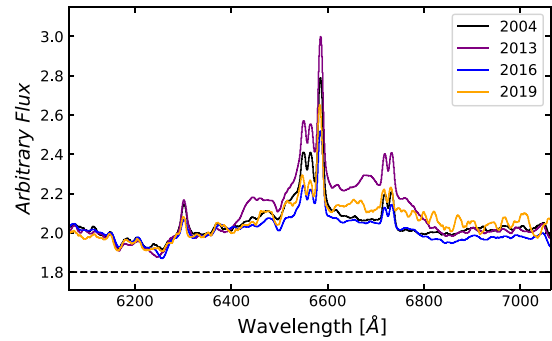


Figure B2. Comparison of four different epoch spectra for one of our type-1 AGN, 1-604860. The black spectrum is from SDSS DR7 observed in 2004, Purple from SDSS DR12 observed in 2013, Blue from MaNGA observed in 2016, and Yellow from OAN-SPM observed in 2019. Fluxes were normalized at 6350 Å for comparisons.

along this time base. In the DR12 observation, the broad $H\alpha$ line shows two broad components, while in the DR15 MaNGA observations these components are barely present. In the OAN-SPM observation, the broad component located between 6600 and 6800 Å seems to be emerging again.

These changes are thought to be likely associated to either rapid outflow or inflow with light from the inner disc and BLR that is being obscured by dusty clouds (Guo et al. 2016), or possible changes in accretion rate of the central black hole, changes in accretion disc structure, or tidal disruptions (Kokubo 2015; Merloni et al. 2015; MacLeod et al. 2016; Ross et al. 2018).

This paper has been typeset from a \LaTeX file prepared by the author.

4 Análisis de la región interna: Estimación de parámetros del AGN y variabilidad

En esta sección se describe el análisis espectral de los AGNs tipo 1 del cual derivará la publicación de un artículo con el trabajo presentado a continuación. Para ello, se probaron y utilizaron dos métodos independientes para desacoplar la componente estelar y la contribución del AGN. Uno de ellos utiliza el método de síntesis de poblaciones estelares con el software Starlight (Cid Fernandes et al., 2005) el cual fue aplicado a todos los espectros integrados de la región central en la muestra DR15 de MaNGA. El otro método utiliza el software QDeblend3D (Husemann et al., 2013; Husemann et al., 2014) que es una interfaz gráfica para cubos de datos con espectroscopia de campo integral cuyo propósito principal es desacoplar la emisión de un AGN no oscurecido y la de su galaxia huésped subyacente. En las siguientes subsecciones se detallarán estos procedimientos y se describirá la forma en que se obtuvieron los parámetros del núcleo activo.

4.1. Sustracción de la galaxia anfitriona

El proceso para segregar el espectro observado en sus diferentes componentes puede ser un proceso degenerado ya que pueden existir diferentes combinaciones que puedan recrearlo. El problema se complica cuando se hace de forma automatizada en grandes catálogos ya que no se tiene control del resultado en diferentes circunstancias, como cuando los espectros no tienen líneas de absorción y/o tienen múltiples líneas de emisión (delgadas y/o anchas). Cuando se tiene una muestra reducida en número, se puede tener un mejor control de estas condiciones. Así mismo, empleando dos métodos conceptualmente diferentes e independientes, nos permite discutir y entender mejor los resultados dando una mayor confiabilidad. A continuación se describirán los dos métodos utilizados para realizar este proceso.

4.1.1. Starlight

Starlight (Cid Fernandes et al., 2005) es un programa que emplea el método de síntesis de poblaciones estelares para realizar un modelo del espectro estelar de una galaxia. Éste programa fue diseñado principalmente para galaxias cuyo espectro este dominado por un conjunto de poblaciones estelares, omitiendo la presencia de líneas de emisión sea cual sea su origen. Para el caso de galaxias con líneas de emisión, el modelo estelar que obtiene Starlight se puede restar al espectro observado

y así obtener un espectro residual o de líneas de emisión. Este espectro puede ser utilizado para estudiar las propiedades de las fuentes que lo originan y, en el caso de los AGNs, para estimar los parámetros del núcleo activo. Para realizar esta síntesis de poblaciones estelares se tomó en cuenta lo siguiente:

- Se usó una base espectral compuesta por 150 poblaciones estelares simples con 6 metalicidades y 25 edades diferentes (Bruzual y Charlot, 2003).
- Se introdujeron 6 leyes de potencia que abarcan el UV cercano y el espectro óptico, cada una con un factor diferente que va de 0.5 a 3 para modelar el continuo del AGN. El mejor modelo es una combinación lineal de éstas, en caso de que exista este continuo.
- Se empleó un archivo de máscara con 39 intervalos correspondientes a líneas de emisión y huecos en el espectro¹.
- Se utilizó la ley de Cardelli-Clayton-Mathis (CCM abreviado, Cardelli et al., 1989) para tratar la extinción por polvo.
- Se introdujo una velocidad de dispersión inicial, la cual fue medida por Pipe3D (Sánchez et al., 2016b) pero dejándola libre para que Starlight pudiera ajustarla si fuera necesario.

Aunque MaNGA cubre un amplio intervalo del espectro óptico, se modeló solo el intervalo 3500 - 7500 Å. De esa manera, evitamos malos ajustes ya que Starlight no cubre muy bien la región con $\lambda > 7500$ y las regiones de interés son las de $H\beta$ y $H\alpha$. Para asegurar que se está obteniendo el mejor modelo, se realizaron diversas pruebas. Una de ellas consistió en crear 100 espectros perturbando el flujo de uno ya conocido para ver que tanto variaban los espectros resultantes obteniendo similitudes en el continuo estelar pero ligeras variaciones en los flujos de las líneas de emisión. Para corregir esto, se tuvieron que usar máscaras muy amplias para ignorar tanto las líneas delgadas como las líneas anchas. De esta forma, Starlight logra modelar los espectros estelares con gran precisión, utilizando el factor de χ^2 dividido por el número de λ s ($N\lambda$) utilizadas en el ajuste, así como la desviación media porcentual sobre todos los píxeles ajustados como indicadores de la calidad del ajuste. Así mismo, se le indicó al software que realizara 7 cadenas de Markov para minimizar el ajuste. En la figura 4.1 se muestra un ejemplo de la sustracción estelar realizada con Starlight. La línea en color negro corresponde al espectro observado y la línea en rojo al mejor ajuste de Starlight. Este ajuste es la combinación de la componente estelar (línea verde) y el continuo o ley de potencias del AGN (línea naranja). Los espectros residuales (línea azul) se obtienen de restar el espectro modelo al espectro observado. Los espectros que se utilizaron para estimar los parámetros observables de los AGNs corresponden a la combinación del espectro residual + el continuo del

¹Las bibliotecas de (Bruzual y Charlot, 2003) presentan algunos errores en los espectros que Cid Fernandes et al., 2005 sugieren enmascarar.

AGN. El resto de los ajustes se puede observar en la figura B.1 en el apéndice B. Los valores de $\chi^2/N\lambda$ encontrados van de 0.6-0.9 con una desviación media porcentual del 5%.

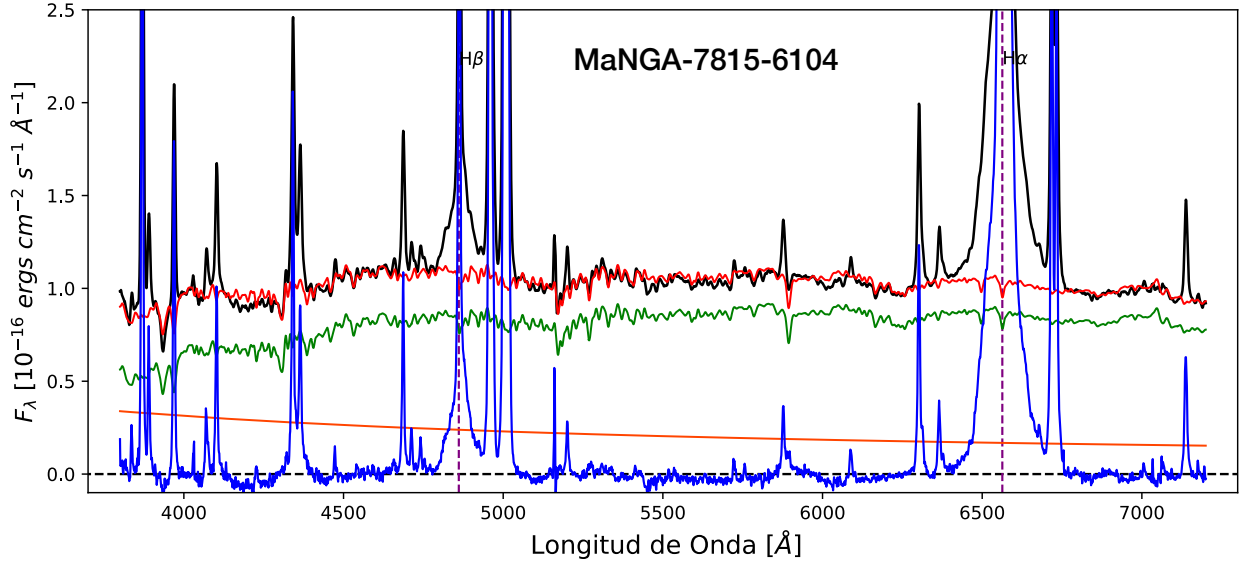


Figura 4.1: Síntesis espectral de las poblaciones estelares realizada con Starlight para la galaxia MaNGA-7815-6104. Los espectros mostrados son: Espectro integrado original de la región nuclear (negro), Modelo propuesto por Starlight (rojo), el cuál, es una combinación del espectro estelar (verde) y la ley de potencias que mejor se ajusta (naranja). El espectro inferior corresponde al residual después de sustraer el mejor modelo de Starlight al espectro observado (azul).

4.1.2. QDeblend3D

El otro método utilizado está basado en el software QDeblend3D (Husemann et al., 2013; Husemann et al., 2014) el cual, aprovecha la naturaleza tridimensional de los datos IFU. Utiliza un algoritmo iterativo que separa el AGN de su galaxia anfitriona, una mejora de la técnica introducida por Christensen et al., 2006. El concepto básico de QDeblend3D es tratar los spaxels de un cubo de datos IFU como un conjunto de espectros independientes en lugar de una secuencia monocromática de imágenes. El primer paso es extraer el espectro del AGN del cubo de datos. En ausencia de turbulencia atmosférica, el espectro de una fuente puntual (como un AGN) tendría que ser el mismo en cada spaxel multiplicado por un factor de escala de acuerdo a la definición de PSF (Point Spread Function). En el caso de las observaciones de AGNs, la presencia de líneas anchas será mayor en el núcleo que fuera de él, por lo que los factores de escala PSF se pueden determinar directamente a partir de la prominencia de las líneas anchas con respecto al continuo adyacente (descrito por Jahnke et al., 2004). Después de crear una PSF a partir de las líneas anchas del AGN, éste es res-

tado de cada spaxel después de multiplicarlo por el factor de escala del PSF correspondiente. Si el espectro nuclear del AGN está contaminado por la luz de la galaxia anfitriona, habrá una sustracción excesiva significativa. Es entonces cuando comienza el proceso iterativo de QDeblend3D para intentar minimizar esta contaminación. El programa estima iterativamente un espectro promedio de la galaxia anfitriona a partir del cubo de datos residual. Una abertura rectangular y el anillo que la rodea se utilizan como regiones predeterminadas para extraer los espectros del AGN y la galaxia anfitriona respectivamente, sin embargo, se puede especificar cualquier conjunto de spaxels para extraer estos espectros. Dado que la galaxia anfitriona se vuelve más brillante hacia su centro, el espectro promedio extraído del anillo circundante debe escalarse en brillo antes de restarlo del espectro nuclear inicial del AGN. El factor de escala de brillo no está restringido por los datos de IFU en sí, por lo que se tuvo que determinar un perfil de brillo superficial analítico. La iteración se detiene cuando converge el espectro nuclear descontaminado de AGN.

Galfit

Para determinar los perfiles de brillo superficial de cada una de las galaxias anfitrionas, se realizó una descomposición bidimensional de su distribución Galfit (Peng et al., 2002) es un código que permite el ajuste de múltiples componentes con diferentes formas funcionales para modelar la distribución de brillo de una galaxia. Para ello se utilizaron las imágenes de cada galaxia de la base de datos SDSS en la banda *r*. En la figura 4.2 se muestra la descomposición bidimensional de la galaxia 8550-6103. Antes de realizar el ajuste, se estimaron las estadísticas correspondientes al fondo de la imagen (background) e imagen de sigma. Las estrellas circundantes y todos los componentes luminosos fuera de la galaxia de interés se tuvieron que enmascarar, construyendo la imagen PSF correspondiente dentro del campo de visión de las galaxias (segundo recuadro de la figura 4.2). Una vez hecho esto, se procedió al ajuste bidimensional modelando inicialmente un componente tipo Sérsic (tercer recuadro de la figura 4.2). Después, se revisaron los residuos correspondientes tras sustraer el mejor modelo de la imagen original. En caso de encontrar residuos significativos, se incluyeron componentes adicionales como un disco, una barra y una fuente puntual (cuarto recuadro de la figura 4.2). El ajuste se considera bueno cuando el residual solo muestra cosas que no se pueden modelar como los brazos espirales o efectos de marea.

En función de las diferentes componentes ajustadas, GALFIT nos da los parámetros de cada una de ellas, las cuales son: el Radio Efectivo, R_e , el índice de Sérsic, n , el Radio de Escala del disco, R_d , la magnitud aparente, m , el ángulo de posición, PA y la elipticidad, ϵ . Algunos de estos valores se reportan en la tabla 4.1, incluidos los mejores modelos para realizar la descomposición (segunda columna). En algunos casos, una descomposición bulbo/disco fue suficiente para utilizarla como modelo del brillo superficial en QDeblend. Sin embargo, dado que la muestra tiene una fracción significativa de barras (>50%) (como se vera en el capítulo 5.5) fue necesario implementar un mejor modelo bulbo/disco/barra. Adicionalmente, se encontró que en muchos casos la fuente puntual

MaNGA-ID	Modelo	m_b	Flujo _b	Re _b	n	m_d	Flujo _d	R _d	P.A. _d	m_n
7815-6104	gbd	18.20	52.48	8.87	2.32	16.18	337.29	11.14	29.33	17.51
7968-3701	gbd	23.97	0.26	[2.0]	>4	14.60	1445.44	12.11	-3.16	18.69
7972-3704	gb	16.86	180.92	8.61	1.54	-	-	-	-	18.84
7977-9101	gbd	17.30	120.23	3.53	0.42	14.53	1541.70	14.45	32.84	17.08
7991-1901	gbd	16.26	313.33	5.73	1.31	18.88	28.05	3.44	75.90	16.90
7991-6104	ndbar	-	-	-	-	15.14	879.02	11.46	-22.74	20.23
8132-6101	gdbbar	18.63	35.32	2.55	0.21	16.40	275.42	15.55	[73.50]	18.18
8135-1902	gd	-	-	-	-	16.97	162.93	5.79	56.88	16.38
8144-3702	gbd	15.93	424.62	5.96	4.37	17.38	111.69	14.96	-78.15	20.21
8158-3704	bd	16.89	175.37	5.22	4.61	16.67	214.86	21.28	72.36	-
8241-9102	bd	15.67	539.51	14.12	3.20	17.66	86.30	9.01	78.76	-
8320-6101	nbdbar	17.78	77.27	1.18	0.60	15.05	954.99	11.76	8.83	20.64
8326-6102	bdbar	17.68	84.72	7.28	0.36	16.03	387.26	9.97	-26.14	-
8341-12704	nbdbar	17.74	80.17	2.53	0.36	14.19	2108.63	14.87	-13.55	18.02
8446-1901	bd	16.20	331.13	5.20	5.00	16.60	229.09	3.31	63.64	-
8466-3704	gbd	15.69	529.66	12.73	4.70	16.60	229.09	16.19	19.40	17.90
8547-12701	bdbar	16.37	283.61	1.47	2.50	14.93	1070.83	20.29	-20.10	-
8549-12702	nbdbar	17.53	97.27	2.75	0.13	14.50	1584.89	17.35	-73.85	18.12
8553-1901	gbd	15.67	537.38	1.93	3.89	15.52	619.04	10.01	65.60	15.66
8553-9102	gbd	17.76	78.70	4.15	0.32	15.15	870.96	12.34	-28.81	18.05
8603-6101	ggbd	13.44	4207.27	27.82	0.62	12.12	14190.58	79.48	32.11	20.00
8606-12701	gdbar	-	-	-	-	14.71	1306.17	16.62	[55.98]	17.55
8615-3701	gdbar	-	-	-	-	16.07	373.25	8.55	-73.19	18.10
8713-9102	nbdbar	16.77	195.88	2.25	0.42	14.83	1169.50	19.90	-1.14	16.51
8714-3704	b	14.20	2089.30	19.66	5.00	-	-	-	-	-
8718-12701	bdbar	17.88	70.53	2.37	0.98	16.22	324.37	18.28	51.98	19.10
8725-9102	gbd	16.78	194.09	8.91	1.03	16.59	231.21	13.71	85.85	18.42
8940-12702	bdbar	15.17	855.07	2.66	1.09	13.98	2558.59	21.70	-54.33	-
8978-6104	bd	16.42	270.40	5.30	5.29	16.44	265.46	7.83	2.39	-
8983-3704	gdbar	-	-	-	-	15.73	508.49	10.84	-46.46	18.18
8990-12705	gbd	18.39	44.06	3.23	2.95	16.59	231.21	7.62	34.42	18.36
8992-3702	bdbar	17.37	112.90	1.88	0.82	16.23	320.77	10.47	-41.79	-
9000-1901	b	14.95	1047.90	5.92	4.21	-	-	-	-	-
9036-6101	gdbbar	18.56	37.64	1.32	0.26	15.63	559.71	8.81	18.97	19.90
9048-1902	gbd	16.38	279.80	4.40	4.11	17.23	127.93	8.94	-4.15	17.80
9181-12702	gbd	13.55	3801.89	20.75	22910.00	13.13	5597.58	111.97	-37.95	17.00
9182-6102	bd	15.72	515.23	9.95	[4.5]	17.12	141.91	7.57	-47.71	-
9193-12704	nbd	17.51	98.71	1.51	1.90	16.61	226.55	7.79	36.19	18.30
9193-9101	gdbbar	17.54	96.29	3.15	0.41	15.03	968.72	21.93	-15.54	17.49
9194-6101	gbd	17.15	138.59	5.93	0.56	16.20	332.51	10.88	-69.15	17.85
9194-6103	gdbbar	15.43	672.98	13.51	[5.0]	16.60	229.09	10.61	-69.81	17.45
9196-12703	gdbar	-	-	-	-	15.91	431.52	11.00	-55.33	18.65
9487-3702	gdbbar	17.21	130.62	1.02	1.75	16.54	242.19	17.56	-85.53	20.00
9487-9102	gdbbar	16.13	353.18	1.20	4.00	15.10	912.01	25.54	25.16	19.00
9497-12705	nbd	17.76	78.68	6.32	0.40	16.67	215.06	14.11	-75.27	17.00
9500-1901	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9881-1902	bd	15.17	851.84	10.67	3.56	16.53	245.02	36.65	-86.68	-

Cuadro 4.1: Propiedades fotométricas de los 47 AGNs tipo 1 obtenidas con Galfit. En la segunda columna se muestra el mejor modelo que se utilizó para realizar la descomposición siendo (detalles en el texto). Las columnas 3 - 6, se muestran los parámetros obtenidos del bulbo (si existe) tales como su magnitud aparente (m), flujo (F), radio efectivo (Re) e índice de Sérsic (n). Las columnas 7 -10 muestran los valores de los parámetros del disco (si existe) tales como su magnitud aparente, flujo, radio de escala (R_d) y ángulo de posición ($P.A.$). La columna 11 muestra la magnitud del modelo del núcleo (si es posible modelarlo).

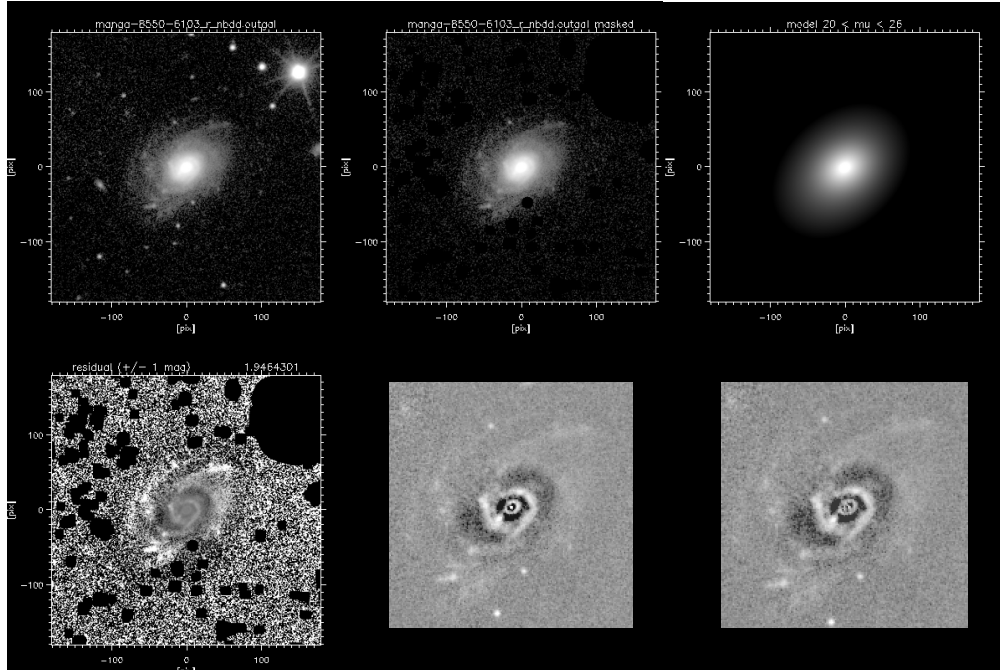


Figura 4.2: Descomposición Estructural 2D (Bulbo/Disco/Núcleo) para la galaxia MaNGA-8550-6103 con Galfit (Peng et al., 2010). Panel superior de izquierda a derecha: Imagen original en la banda r de la base de datos SDSS, Imagen con todas las fuentes espúreas enmascaradas, y el mejor modelo 2D de la distribución de brillo obtenido con Galfit. Panel inferior, de izquierda a derecha: Imagen residual (Imagen original - mejor modelo de Galfit), Imagen residual antes de sustraer la componente residual nuclear, y después de sustraer la componente residual nuclear. El flujo sustraído de esta componente nuclear es utilizado para corregir los colores, magnitudes absolutas y masas estelares de las galaxias anfitrionas (Ver Capítulo 5).

central era muy prominente por lo que también se procedió a modelarla y sustraerla lo cual, permitió tener una estimación del flujo asociado con la fuente central y así tener una mejor estimación de la masa estelar libre de la fuente central. Las abreviaturas mostradas siguen el siguiente código: g o n = modelo gaussiano o psf nuclear para ajustar la contribución de brillo de una fuente puntual (AGN), b = bulbo, d = disco y bar = barra. Con estos parámetros, podemos definir un modelo analítico de brillo superficial de la galaxia anfitriona para utilizar en QDeblend3D. Por conveniencia, las barras se modelaron con un perfil Sérsic ya que QDeblend3D no puede aceptar un modelo más complejo como una barra de Ferrer.

Se realizaron diversas pruebas para cada una de las galaxias ya que, además de poder construir el perfil de brillo superficial que requiere QDeblend3D para realizar la separación AGN-galaxia anfitriona, los diferentes parámetros que nos brinda Galfit nos pueden ayudar a estimar la masa de cada componente (ver Capítulo 5). En la figura 4.3 se muestra un ejemplo de como se sustrae la componente estelar con QDeblend3D en la misma galaxia 7815-6104. El recuadro superior izquier-

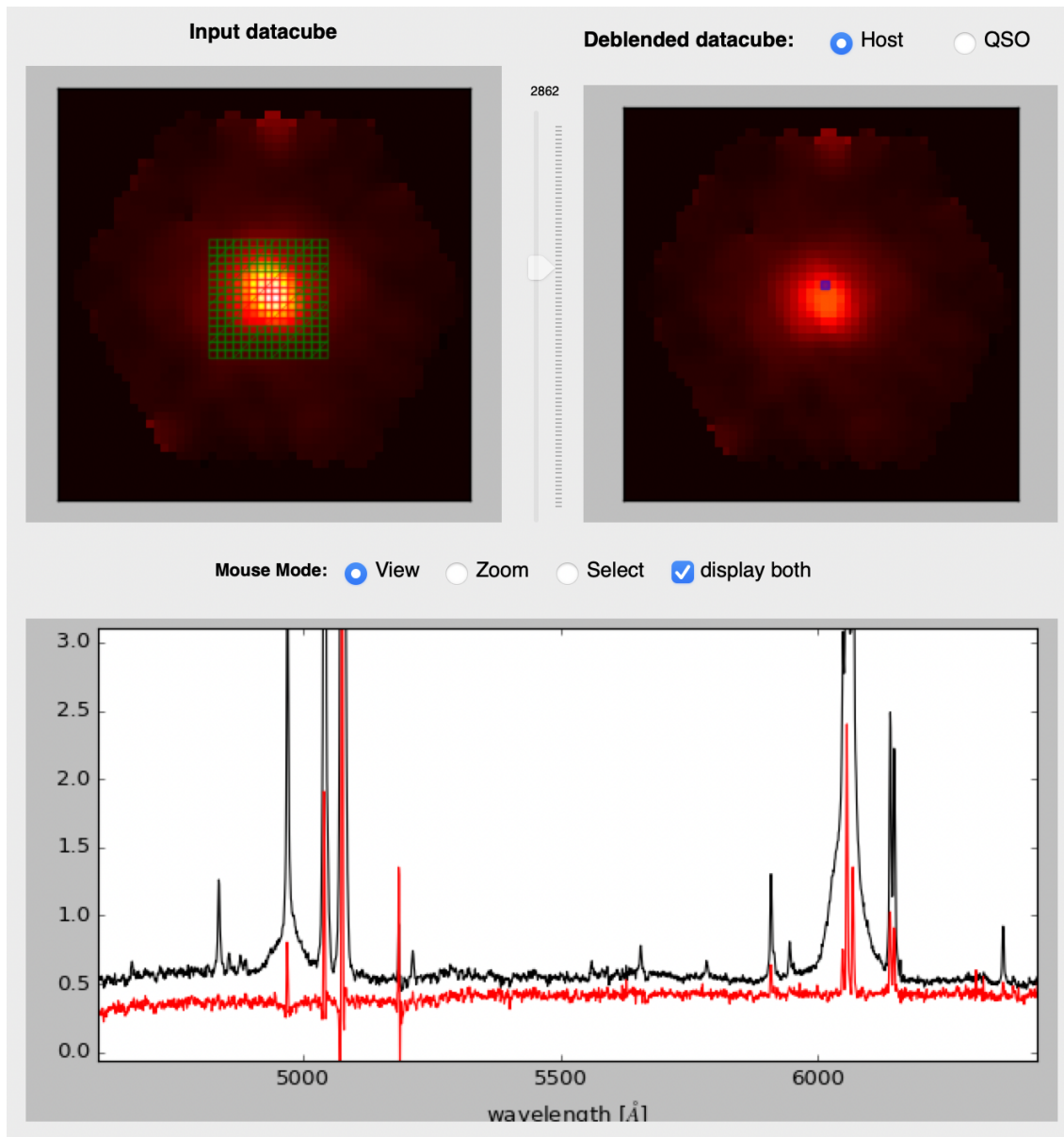


Figura 4.3: Extracción y ajuste de la fuente puntual nuclear en un cubo de datos IFS. QDeblend3D provee un visualizador del cubo de datos interactivo para seleccionar parámetros y llevar a cabo el desacople (deblending) de forma iterativa. Es posible visualizar al mismo tiempo el cubo de datos correspondiente al AGN y a la galaxia huésped, así como sus espectros (recuadro inferior) para optimizar el proceso de desacople.

do corresponde al cubo de datos con las regiones seleccionadas para representar al AGN (cuadros rojos) y a la galaxia anfitriona (cuadros verdes). Una vez realizado el proceso iterativo para sustraer la PSF y de reconstruir el brillo superficial, el programa crea dos cubos de datos que se pueden visualizar en el recuadro superior derecho. En el recuadro inferior se muestra el espectro del cubo de datos (línea negra) y el espectro del cubo individual (línea roja, en este caso del cubo de la galaxia anfitriona). Para la obtención de los parámetros de los AGNs, utilizamos el cubo de la PSF.

4.2. Starlight vs QDeblend3D

Dado que tenemos dos resultados obtenidos con metodos diferentes, decidimos compararlos para tratar de entender las similitudes y diferencias. En la figura 4.4 se pueden ver los espectros residuales tanto de Starlight (línea azul) como de QDeblend3D (línea roja) para la galaxia 7815-6104. El espectro observado se muestra con una línea negra. El espectro de la PSF se obtuvo al integrar los spaxels contenidos en los 3 segundos de arco centrales para ser consistentes con el espectro de Starlight.

Lo primero que se puede destacar es el flujo del continuo del AGN que es similar en ambos resultados, sin embargo, en el caso de QDeblend3D, la pendiente del continuo es más pronunciada que la obtenida por Starlight. No obstante, esta diferencia no es notable en la región de 5100 Å que es la necesaria para estimar la masa del agujero negro supermasivo utilizando la ecuación 1.1. En el resto de los 46 AGNs, las diferencias se pueden agrupar así como con las familias de AGNs. La figura 4.5 muestra la comparación de espectros para una galaxia de cada familia siguiendo el mismo código de colores que la figura 4.4.

Para el caso de los AGN dominante (espectro superior de la figura 4.5), QDeblend3D muestra un mejor ajuste de la ley de potencias del AGN, caso contrario a Starlight que muestra un espectro plano. Esto se debe a que Starlight utiliza las líneas de absorción para realizar su mejor ajuste de poblaciones estelares pero al ser espectros dominados por puras líneas de emisión, el programa tiene problemas para modelar el espectro estelar así como su contribución. El ajuste con Starlight puede verse en el apéndice B donde el “mejor modelo” no recupera bien la forma del continuo observado. Para esta familia, QDeblend3D realiza mejor la separación. Para el caso intermedio (espectro de enmedio de la figura 4.5), tenemos espectros residuales bastante similares, tanto en la forma del continuo como de las líneas anchas, siendo el ejemplo mostrado, un caso donde la componente ancha de $H\beta$ apenas es visible pero ambos programas pudieron rescatarla. Para esta familia, ambos programas dan resultados similares. Por último, el caso de una galaxia dominante (espectro inferior de la figura 4.5) donde notamos que ahora Starlight es el que muestra un mejor residual. Al ser un espectro dominado completamente por el espectro estelar, se espera un residual plano con líneas de emisión, resultado que vemos con Starlight pero no con QDeblend3D. De hecho, el resultado de éste muestra un continuo creciente hacia el rojo, el cual no tiene una razón

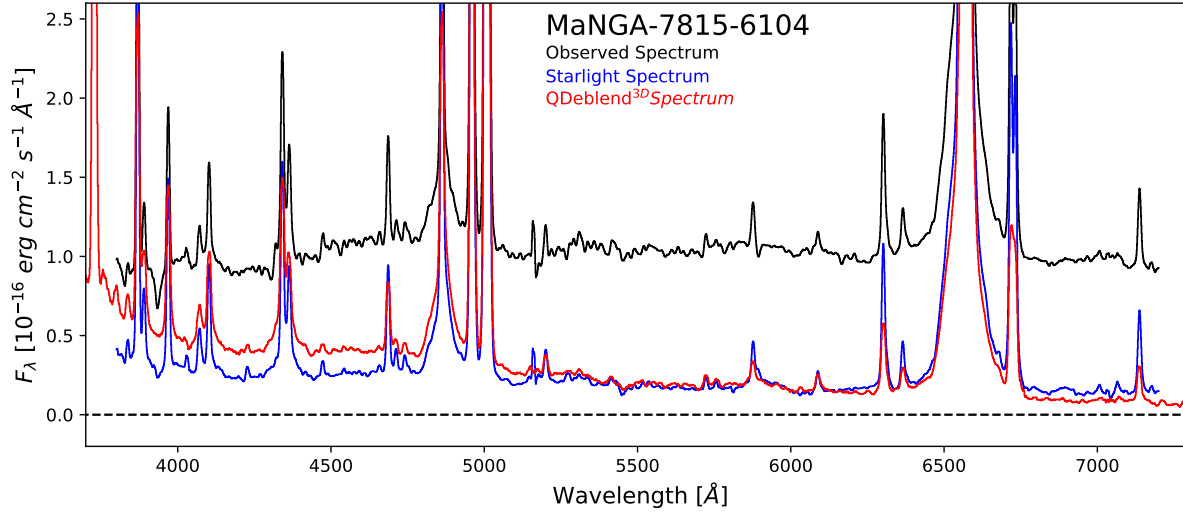


Figura 4.4: Comparación de los resultados obtenidos con Starlight y QDeblend3D para el espectro de la región nuclear de la galaxia MaNGA-7815-6104. De arriba a abajo: Espectro integrado observado de la región nuclear (negro), espectro desacoplado del AGN obtenido con Starlight (azul) y el correspondiente con QDeblend3D (rojo).

física que lo explique. La razón por el cual tiene problemas se debe a que al ser AGNs poco luminosos, no puede ajustar y quitar correctamente la fuerza de la única componente ancha visible ($H\alpha$), así como modelar su continuo. Para esta familia, Starlight realiza mejor la separación AGN + Galaxia Anfitriona. En el Apéndice C se muestran el resto de comparaciones de ambos espectros. Aunque notamos diferencias claras entre los resultados para 2 de las 3 familias de AGNs, se decidió utilizar ambos resultados para realizar el ajuste de las líneas de emisión. De esta forma podremos cuantificar de mejor forma estas diferencias y hacer un mejor cálculo de los parámetros de los núcleos activos.

4.3. Análisis espectral

Para hacer la estimación de los parámetros definidos en el capítulo 1, se requieren modelar y ajustar las líneas de emisión cuya fuente sea el núcleo activo. Para ello se hacen las siguientes consideraciones: las líneas de emisión provenientes de regiones de formación estelar tienen un máximo de anchura de 300 km s^{-1} (Netzer, 2013). Una anchura mayor a dicho valor se considerará de origen AGN. En casos muy específicos se han observado líneas de emisión nebular aceleradas por la expansión de un radio lóbulo, alcanzando anchuras de hasta 500 km s^{-1} (O’Dea et al., 2002) y en simulaciones pueden alcanzar los $\sim 1000 \text{ km s}^{-1}$ (Tanner y Weaver, 2022), por lo

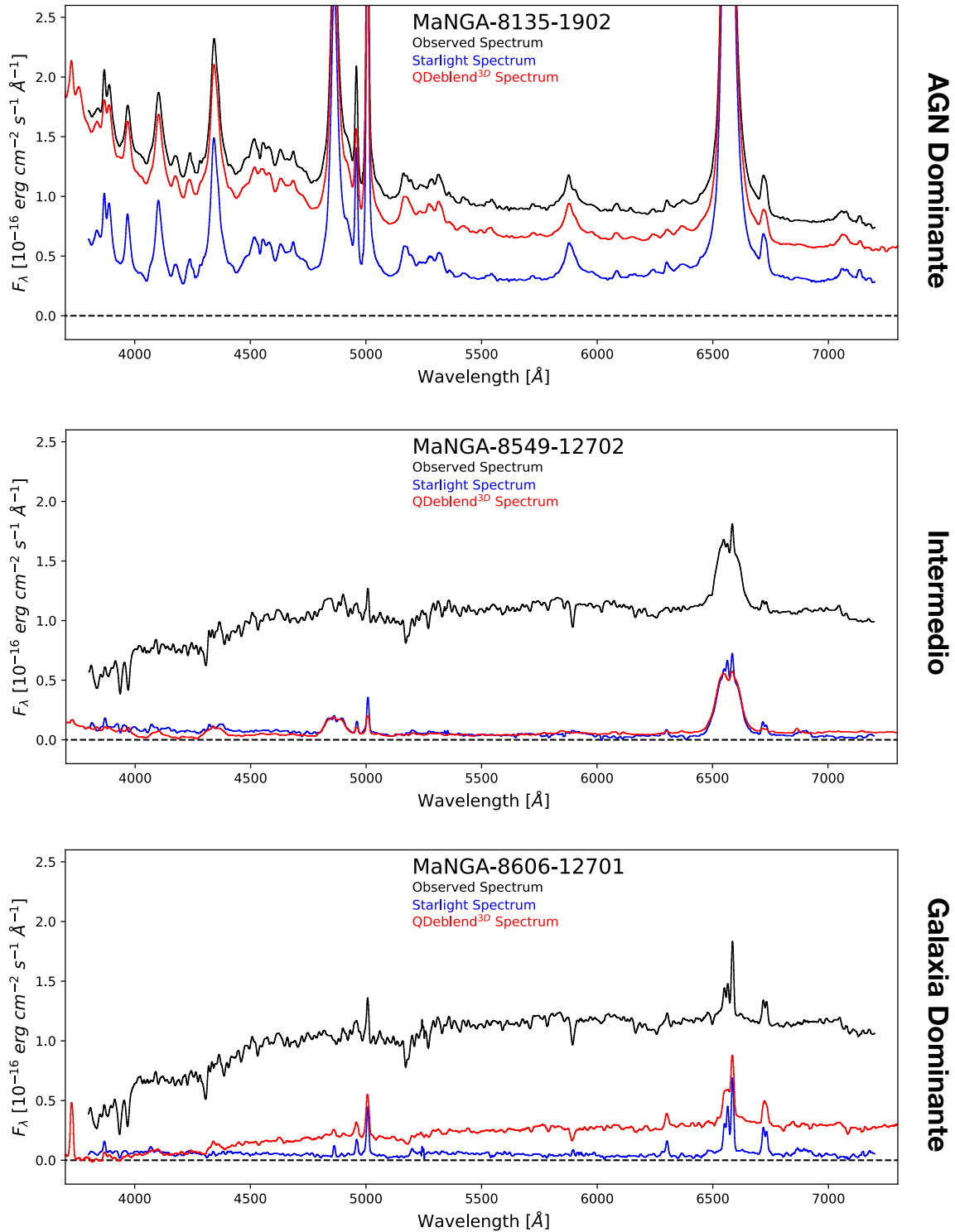


Figura 4.5: Similar a la Figura 4.4 ahora ilustrando los resultados para la galaxia con espectro AGN dominante MaNGA-8135-1902 (panel superior), la galaxia con espectro de tipo Intermedio MaNGA-8549-12702 (panel intermedio) y la galaxia con espectro de galaxia dominante MaNGA-8606-12701 (panel inferior).

que pueden llegar a confundirse con la componente delgada de $H\alpha$. Sin embargo, las diferentes propiedades físicas que se infieren de los núcleos activos solo necesitan de las características de las componentes anchas. Para discernir entre ambas componentes, se consideró que la componente delgada tenga anchos $< 800 \text{ km s}^{-1}$. Cualquiera de las gaussianas adicionales usadas para ajustar las líneas de Balmer $H\alpha$ y $H\beta$ con $\text{FWHM} > 1000 \text{ km s}^{-1}$ se consideró ancha. El FWHM utilizado para la estimación de la masa virial del agujero negro es el FWHM resultante de la suma de estas componentes gaussianas anchas (si es que hay más de una).

Estimar la masa de un agujero negro con espectros de una sola época representa un gran reto ya que se debe descomponer el espectro y ajustar múltiples líneas de emisión superpuestas, entre las que se encuentran las componentes delgadas y las anchas. Para realizar esta tarea, se utilizó el software *Specfit* (Kriss, 1994) de IRAF que proporciona una interfaz interactiva que ajusta al mismo tiempo una amplia variedad de líneas de emisión, líneas de absorción y el continuo para un espectro dado.

Utilizando tanto los espectros de líneas de emisión de Starlight como de QDeblend3d, se realizaron dos ajustes que corresponden a cada una de las regiones alrededor de las líneas de Balmer ($H\beta$ y $H\alpha$) con las siguientes especificaciones (el método está basado en Negrete et al., 2018 pero con modificaciones):

- El modelo incluye valores iniciales del continuo del espectro, las líneas delgadas, la componente ancha de la respectiva línea de Balmer y la emisión de FeII. Utilizando simulaciones de espectros de AGN (Marziani et al., 2003) se estimó visualmente la emisión óptica mínima detectable de FeII en función del ancho de $H\beta$ para diferentes intervalos de S/N. El templete puede visualizarse en la región de $H\beta$ y $H\alpha$ variando en intensidad y anchura.
- El ajuste del continuo incluye un modelo de ley de potencia. En algunos casos, el flujo del continuo no se encontraba cercano al 0 por lo que se tuvo que dar un valor inicial.
- El perfil de las líneas fue en su mayoría del tipo gaussiano. En casos muy contados, la componente ancha tuvo que ser modelada con un perfil Lorentziano (ver p.ej. figura 3 de Sulentic et al., 2002).
- Los valores de los centroides de las líneas delgadas correspondieron al valor de la longitud de onda donde se da la emisión en un sistema en reposo. Para ello, los espectros deben ser corregidos por corrimiento al rojo antes de modelar las líneas. En el caso de las componentes anchas, este parámetro se dejó libre ya que la fuente de emisión no es la misma que la de las líneas delgadas.

Así mismo, se tuvieron otro tipo de consideraciones para realizar el ajuste de las líneas:

- Considerando que la fuente de todas las líneas delgadas es la NLR, primero se ajustó una línea prominente en cada región y el resto se fijaron al ancho que obtengan éstas líneas. Para la región de $H\beta$ se utilizó $[OIII]\lambda 5007$ y para la región de $H\alpha$, $[NII]\lambda 6584$.
- En el caso de las líneas que son dobletes ($[OIII]$ y $[NII]$), las líneas se fijaron con su respectivo par en separación y relación en flujo. En el caso del doblete de $[SII]$, solo se fijó la separación entre las líneas.
- En el caso de las componentes anchas, el FWHM se dejó libre ya que su fuente de emisión proviene de la BLR.
- Por cada línea delgada, se contemplaron dos componentes gaussianas, en caso de que haya múltiples componentes, por ejemplo, una componente adicional de $[OIII]\lambda 5007$ originada por vientos o una componente adicional de $H\alpha$ debida a la emisión nebulosa.
- Por cada línea ancha, se contemplaron tres componentes gaussianas. En algunos casos, se puede observar tanto la componente proveniente de la BLR así como otras dos que pueden asociarse a un segundo agujero negro o a las componentes separadas, roja y azul, del disco de acreción (e.g. Peterson, 2006; Lewis et al., 2010; Storchi-Bergmann et al., 2017).

El ajuste resultante debe, en su conjunto, asemejarse al espectro de emisión. En caso de que no se logre en una primera iteración, se procede a realizar una minimización utilizando un algoritmo de Marquardt, el cual realiza el ajuste de los datos, flujo vs longitud de onda, hasta encontrar los mejores parámetros de la función que minimizan la desviación con respecto al espectro observado. En caso de que el ajuste siga siendo malo después de la minimización, se procedió a realizar cambios en los parámetros iniciales. Se utilizó el estadístico χ^2 para conocer la bondad del ajuste, considerando que el ajuste es bueno cuando este estadístico obtiene valores cercanos a 1.

En la figura 4.6 se muestran los ajustes de las líneas de emisión de la galaxia 7815-6104, utilizando tanto el espectro de Starlight (paneles superiores) como el espectro de QDeblend3D (paneles inferiores). De lado izquierdo se muestran los ajustes en la región de $H\beta$ y de lado derecho los ajustes en la región de $H\alpha$. En todos los paneles se muestra el espectro de líneas de emisión (negro), el mejor ajuste (azul), las líneas delgadas (gris), las segundas componentes de las líneas delgadas (amarillo), las líneas anchas así como sus componentes extra (rojo) y la emisión de FeII (verde). Cada panel de ajuste viene acompañado de un panel inferior donde se restó al espectro de líneas de emisión el mejor ajuste obteniendo residuales bastante cercanos a cero. El eje X en la parte inferior muestra la velocidad sistémica centrada en el marco de reposo de la respectiva línea ancha y en la parte superior muestra la longitud de onda. En el eje Y se muestran los flujos, los cuales tienen una escala diferente debido a que el espectro de Starlight fue normalizado y no se corrigió por ese factor al momento de hacer el ajuste de líneas. Podemos ver en este caso particular múltiples componentes tanto para las líneas delgadas como para las líneas anchas. Los ajustes realizados en

el espectro de Starlight son los mismos que se implementaron en el de QDeblend3D salvo por la casi nula presencia de FeII en éste último. En el apéndice D se muestra el resto de los ajustes cuya descripción de casos particulares se tratará a continuación.

4.3.1. Casos comunes

En la mayoría de los casos, las líneas de Balmer delgadas son fáciles de distinguir y de ajustar. Se tratará como casos comunes aquellos donde el ajuste de líneas de emisión se componen principalmente de: *1 componente ancha + 1 componente delgada por línea de emisión*. Éstos casos se pueden describir como aquellos donde la NLR y BLR están bien definidas al encontrarse solo una componente por línea de emisión. Dentro de esta categoría, podemos ver algunos ejemplos como 8158-3704, 8940-12702 o 9487-3702 en la figura D.1 del apéndice D. Este es el modelo más común y está presente en la mayoría de los AGNs del grupo Galaxia Dominante.

4.3.2. Casos irregulares

Sin embargo, hay otros casos en los que las líneas anchas son tan intensas que opacan a las líneas delgadas, lo que dificulta una identificación exitosa del FWHM virial apropiado. El perfil de esta línea no se ajusta correctamente con un ajuste gaussiano. En ocasiones es necesario el uso de dos perfiles gaussianos o uno de tipo lorentziano. De acuerdo al espacio de parámetros Eigenvector 1 (p.ej. Sulentic et al., 2000; Marziani et al., 2021), este AGN tiene las características para pertenecer a la población A debido al perfil de la línea ancha. Los AGNs de ésta población son en su gran mayoría radio callados, el FWHM de la componente ancha es menor a los 4000 km s^{-1} (Narrow Line Seyfert 1, NLS1) y presentan líneas de emisión de Fe II. Al no presentar las líneas delgadas de $H\alpha$ y $[\text{NII}]\lambda 6584$, se utilizó $[\text{SII}]\lambda\lambda 6717,31$ para estimar el FWHM y fijarlo para el resto de las componentes delgadas. Ejemplos de éste tipo de AGNs son 7991-1901 y 8135-1902 que pueden verse en la figura D.1 del apéndice D.

4.3.3. Casos con emisión de hierro (FeII)

Los AGN suelen exhibir una emisión de FeII que consta de una gran cantidad de líneas individuales en las regiones óptica y UV del espectro (p.ej. Kovačević et al., 2010). Estas líneas parecen mezclarse debido al ensanchamiento por la rotación del gas que las emite, y la magnitud de este ensanchamiento varía significativamente de una fuente a otra. La presencia de emisión de FeII en los intervalos del óptico y UV del espectro puede ser una complicación importante cuando se intenta medir con precisión los perfiles de línea. Por lo tanto, es crucial que el modelo utilizado para derivar los anchos de línea para las mediciones de masa de agujeros negros también tenga en cuenta la emisión cercana de FeII.

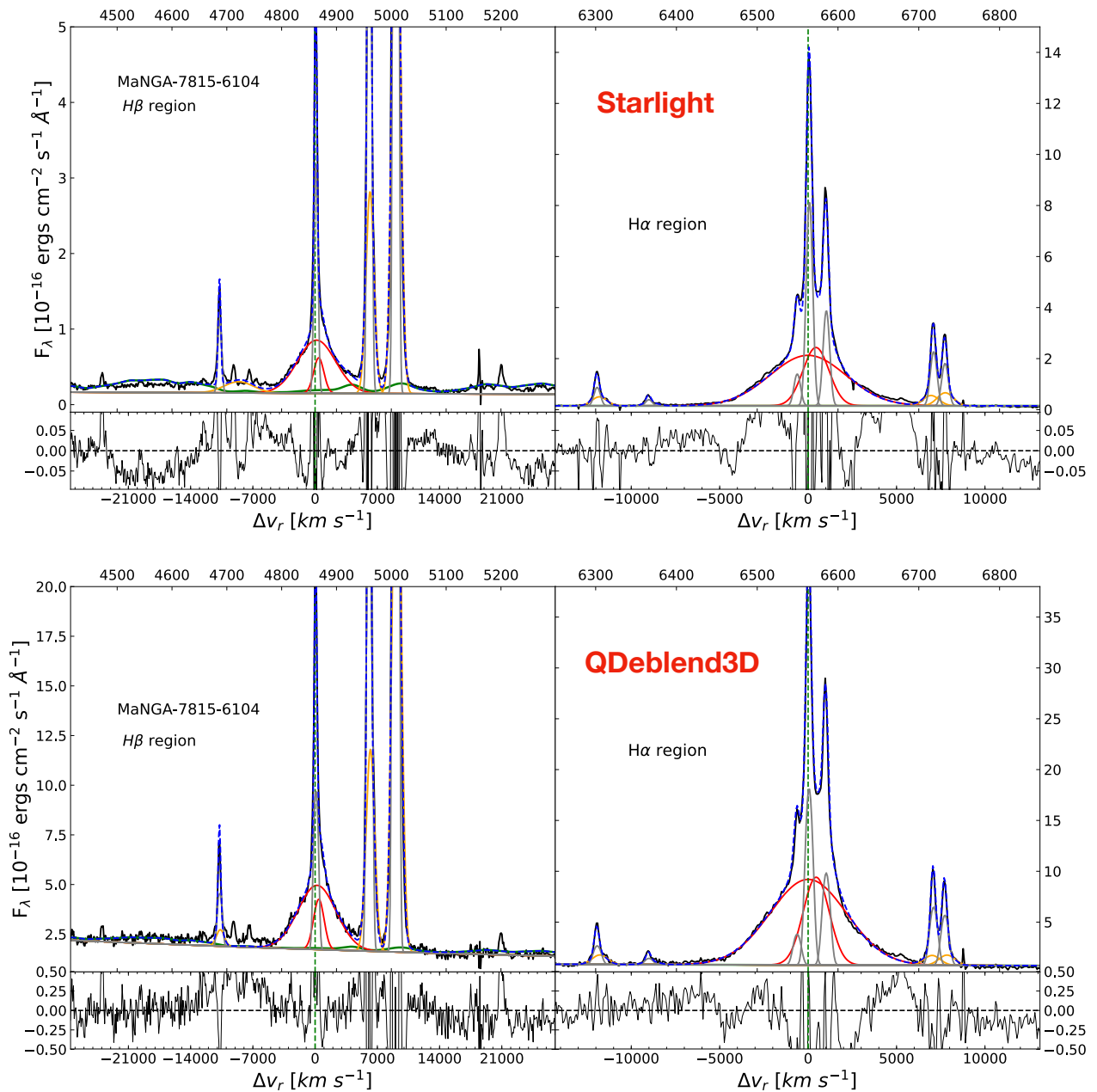


Figura 4.6: El ajuste de las líneas de emisión para la galaxia MaNGA-7815-6104. Los paneles superiores muestran el ajuste al espectro obtenido con Starlight y los paneles inferiores al obtenido con QDeblend3D. Así mismo, de lado izquierdo se tienen los ajustes de la región de H β y de lado derecho los de la región de H α . En cada ajuste se muestra: el espectro a ajustar (negro), el mejor ajuste (azul), las componentes delgadas (amarillo), las componentes anchas (rojo) y la emisión de FeII (verde). Debajo de cada ajuste se muestra un sub-panel que muestra los residuales de los mejores ajustes.

Las fuentes con una relación S/N baja normalmente tendrán pocas o ninguna señal de emisión de FeII; es probable que cualquier exceso de emisión de FeII se ajuste a la ley de potencia continua. Por otro lado, los objetos dominados por la galaxia pueden tener residuales de la sustracción estelar que frecuentemente son confundidos con los multipletes de FeII (Bon et al., 2020). Algunos ejemplos pueden verse en 7977-9101, 8135-1902 o 8553-9102 de la figura D.1 en el apéndice D.

4.3.4. Casos con múltiples componentes anchas

Por último, se tienen casos en los que se ve claramente una doble componente ancha, cada una desplazada al rojo y al azul respecto al marco de referencia sistémico. Estos son conocidos como “emisores de doble pico” y son en su mayoría radio emisores que están siendo vistos a una inclinación relativamente grande en dirección al radio jet (fuentes de radio de amplio espectro, Netzer, 2013). La fracción de AGNs con doble pico es muy pequeño, incluso más pequeño que la fracción de AGNs radio emisores y solo han sido observados en núcleos activos de muy baja luminosidad. Los intentos más satisfactorios para ajustar perfiles de doble pico están basados en un modelo donde la fuente principal de ionización y calentamiento del gas está afuera del disco de acreción (modelos de disco)². Algunos de estos modelos fueron propuestos por Sulentic et al., 1998 basados principalmente en el trabajo de Chen y Halpern, 1989, quienes fueron de los primeros en estudiar estos perfiles. Actualmente han habido avances significativos en estos modelos incluyendo sistemas binarios de agujeros negros supermasivos (e.g. Peterson, 2006; Lewis et al., 2010; Storchi-Bergmann et al., 2017). Algunos ejemplos los podemos encontrar en 8549-12702, 8714-3704 o 9500-1901 en la figura D.1.

4.4. BPT vs método de cociente de flujos

Las razones por las que se desarrolló una técnica diferente para encontrar AGNs Tipo 1 en lugar de utilizar los diagramas BPT (Baldwin et al., 1981) o el diagrama WHAN (Cid Fernandes et al., 2010) se encuentran mencionadas en el primer paper (ver 3.4). Una de ellas es la contaminación que puede producir el continuo estelar y las mismas componentes anchas en el flujo real de las líneas delgadas que se utilizan en estos diagramas. En la figura 4.7 (figura 6 del primer artículo) se muestran estos diagramas para las 4636 galaxias del MPL-7 de MaNGA. Las estrellas azules corresponden a los 47 AGNs tipo 1, las estrellas verdes a los AGNs tipo 2 seleccionados con los criterios de Sánchez et al., 2018 y los puntos grises son el resto de las galaxias.

Los flujos de las líneas de emisión utilizadas para construir estos diagramas se obtuvieron del VAC de Pipe3D (Sánchez et al., 2016b). Para obtener estos flujos, el “pipeline” descompone los

²Actualmente no hay modelos completos de este tipo que expliquen satisfactoriamente todas las intensidades y perfiles de las líneas de emisión así como su patrón de variabilidad esperado para esta estructura.

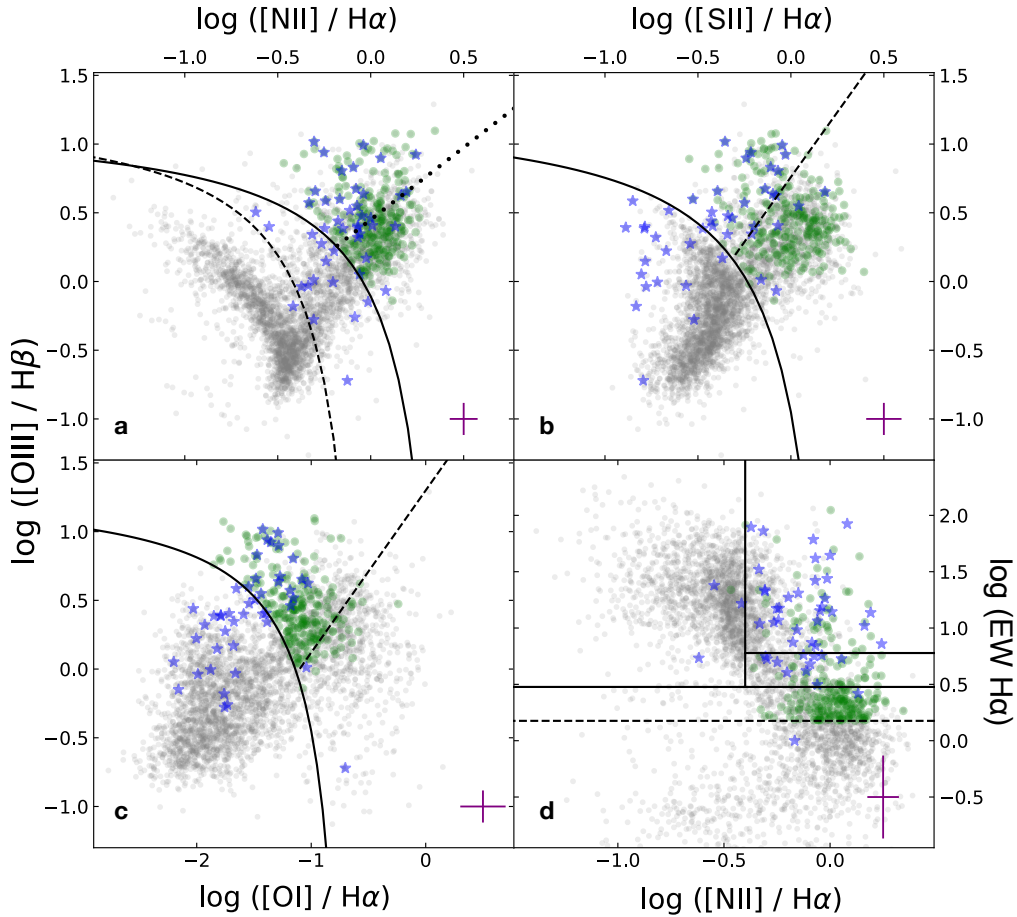


Figura 4.7: Diagramas BPT y WHAN para las 4636 galaxias del MPL-7. Los datos se obtuvieron del VAC de Pipe3D, mostrando los AGNs tipo 1 como estrellas azules y a los AGNs tipo 2 como estrellas verdes. El diagrama WHAN se muestra en la parte inferior derecha con el umbral $AE(H\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$ como una línea discontinua. Las barras de error se muestran como cruces moradas.

cubos de datos de cada galaxia en uno estelar y en otro de líneas de emisión. Esto lo logra haciendo una síntesis de población estelar a la par de un ajuste de líneas de emisión, spaxel por spaxel. No obstante, este ajuste de líneas de emisión, al ser automatizado, hace un ajuste de líneas delgadas de primer orden. Es decir, solo ajusta una componente delgada por línea de emisión sin considerar que puedan tener una segunda componente o se tenga la presencia de una componente ancha. En función de este ajuste de primer orden es que se obtuvieron los valores de los flujos por lo que puede discrepar del flujo real. Es por ello que, al visualizar la posición de los AGNs tipo 1 en estos diagramas, se puede observar que varios caen en la región de emisión compuesta (AGN+formación estelar) del diagrama de [NII] e incluso varios caen en la región de formación estelar. También encontramos casos donde la componente ancha es tan intensa que opaca a las líneas delgadas por lo que no se pudieron graficar (ver p.ej. a 8135-1902 en la figura B.1). Si utilizamos los criterios tradicionales donde solo se consideran las galaxias ubicadas por arriba de la línea de Kewley (Kewley

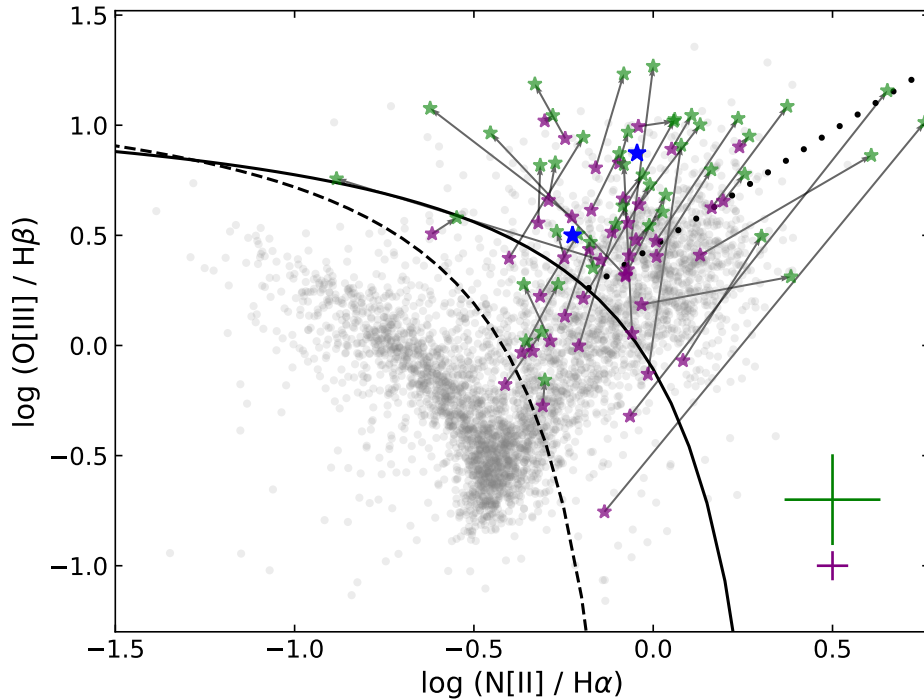


Figura 4.8: Diagrama BPT de [NII]. En éste se observa la reubicación de los AGNs tipo 1 cuando se considera correctamente el flujo de las líneas delgadas. Las cruces representan el error promedio.

et al., 2001), se perdería el 66% de nuestra muestra usando los diagramas BPT, y el 11% usando el diagrama WHAN (considerando un umbral de 3\AA).

Para el caso particular del diagrama de [NII], se rehizo este diagrama pero utilizando los flujos de las líneas delgadas obtenidos de nuestro análisis espectral con *Specfit*, es decir, después de sustraer el continuo estelar y las líneas anchas (ver sección 4.3).

En la figura 4.8 se muestran como estrellas moradas a los AGNs tipo 1 con los flujos de Pipe3D y como estrellas verdes a los mismos AGNs pero con los flujos obtenidos con nuestro análisis espectral. Se agregaron flechas para visualizar la reubicación de cada AGN dentro de este diagrama. Podemos ver que algunos pasan de las regiones compuesta y de formación estelar a la región de AGN, por arriba de la línea de Kewley et al., 2001, quedando únicamente 6 en la región compuesta. Así mismo, se muestran otros dos AGNs tipo 1 con estrellas azules que se pudieron graficar después de sustraer la componente ancha que opacaba a las líneas delgadas. Este resultado demuestra que los diagramas de diagnóstico no funcionan correctamente para detectar AGNs tipo 1. Para hacer que lo hagan, hay que agregar pasos adicionales como sustraer el continuo estelar y modelar todo tipo de línea de emisión para considerar únicamente el flujo de la componente delgada. En cambio, el método que se desarrolló puede detectarlos utilizando directamente el espectro observado y sin pasos adicionales.

4.5. Variabilidad

Uno de los aspectos más importantes de los núcleos activos es la alta variabilidad que presentan en su espectro, el cual puede cambiar en cuestión de años. En el capítulo 3 se hizo una comparación entre nuestra muestra de AGNs tipo 1 y las de Stern y Laor, 2012; Oh et al., 2015; Liu et al., 2019 encontrando objetos cuyas componentes anchas eran visibles en los espectros de SDSS y ya no lo eran en los espectros de MaNGA, o viceversa. La razón es que la diferencia entre las observaciones de SDSS y MaNGA van de 3 a 16 años (con los espectros de DR7 de SDSS siendo los más viejos y los de DR15 los más recientes) por lo que hay tiempo suficiente para notar el cambio en la actividad nuclear. Storchi-Bergmann et al., 2003 le dieron seguimiento espectroscópico a un AGN variable realizando 24 observaciones durante 11 años demostrando que los tiempos de variabilidad son muy cortos. Comparando ambos espectros, se pudo realizar una caracterización de la variabilidad en nuestra muestra de AGNs tipo 1 cuyos resultados se describirán a continuación.

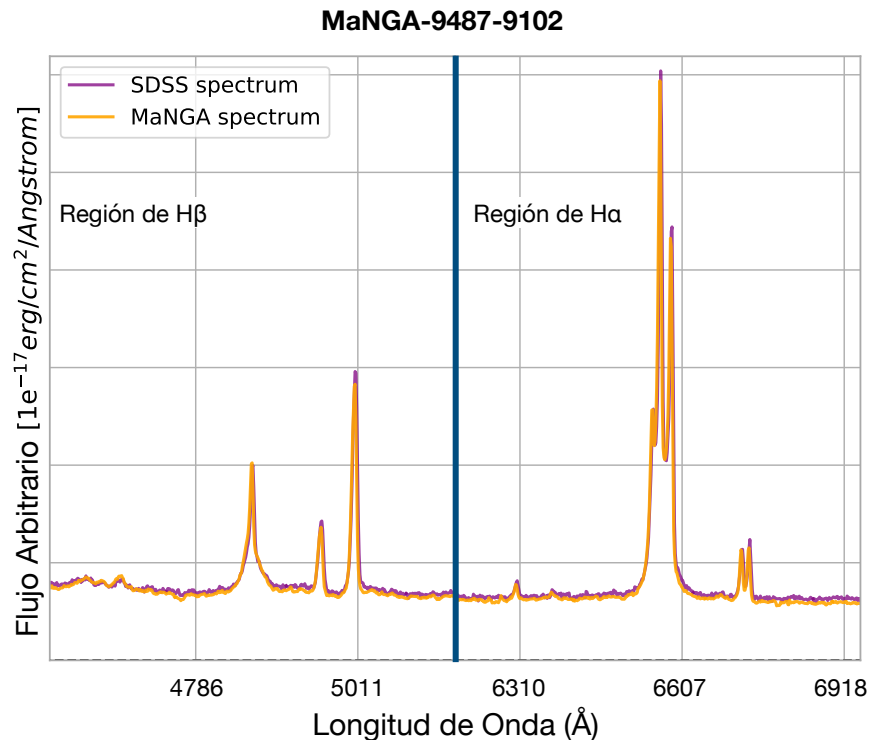


Figura 4.9: El espectro integrado de la región nuclear (en una apertura circular de 3 segundos de arco) del cubo de datos de la galaxia MaNGA-9487-9102 (amarillo) y el correspondiente espectro de una sola fibra obtenido en el catastro SDSS (púrpura). La diferencia de años entre observaciones es de 15 años (2002 SDSS DR15 - 2017 MaNGA). De lado izquierdo se tiene a la región de $H\beta$ y de lado derecho a la región de $H\alpha$.

4.5.1. Objetos no variables

Se buscaron los espectros ópticos de los 103 AGNs tipo 1 de nuestra muestra y otros 6 AGNs catalogados como tipo 1 por otros catálogos pero no por el nuestro. De éstos, solo se pudieron encontrar ambos espectros en 96 galaxias, el resto no tiene observaciones espectroscópicas en SDSS. La comparación se realizó al sobreponer ambos espectros tanto en la región de $H\alpha$ como en la de $H\beta$, para observar si hay un cambio notorio en las líneas de emisión, tanto delgadas como anchas.

Dado que los espectros de SDSS son de una sola apertura a 3 segundos de arco y nuestros espectros de MaNGA se obtuvieron de integrar los spaxels dentro de los 3 segundos de arco centrales, consideramos que es una muy buena aproximación para realizar esta comparación y que la variabilidad encontrada es real y no debida a un efecto de instrumentación. De los 96 objetos, 15 ($\sim 16\%$) no muestran cambios en la forma o intensidad de sus líneas anchas aunque algunos si tienen cambios en la intensidad de sus líneas delgadas. En la figura 4.9 se muestra a la galaxia 9487-9102 donde, a pesar de que hay una diferencia de 15 años, entre el espectro de MaNGA (línea amarilla, 2017) y el espectro de SDSS DR15 (línea púrpura, 2002), no se percibe un cambio como los que se mostrarán en las siguientes sub secciones. Estos objetos se pueden catalogar como AGNs con acreción constante dado el nulo cambio en su espectro.

4.5.2. Objetos variables en todo el espectro

Se tiene una categoría para el cual notamos variabilidad tanto en la componente ancha de $H\alpha$ como en la de $H\beta$. Constituyen el grupo más grande ya que de las 96 galaxias que se compararon, 43 (45%) tienen este tipo de variabilidad. Así mismo, notamos que este grupo se podía subdividir en objetos con un incremento en la actividad nuclear o un decremento de la actividad. Dado que los espectros de MaNGA son más recientes que los de SDSS, se clasificó como decremento cuando la intensidad de las líneas anchas era menor en el espectro de MaNGA que en el de SDSS. Si la intensidad es mayor en los espectros de MaNGA, entonces hablaremos de un incremento.

En la figura 4.10 se muestran dos ejemplos de variabilidad en ambas regiones. El panel izquierdo muestra los espectros de MaNGA-7815-6104 cuyos espectros se observaron en 2002 (SDSS DR15) y 2014 (MaNGA), mostrando un decremento de la actividad nuclear en un intervalo de 12 años de diferencia. El panel derecho muestra los espectros de MaNGA-9186-9101 con una diferencia de 9 años entre las observaciones (SDSS DR15 2008, MaNGA 2017) y donde se aprecia un incremento en la actividad nuclear. De los 43 objetos que muestran variabilidad en todo su espectro, 33 tienen un decremento y 10 tienen un incremento en la actividad nuclear. Las razones por las que se tienen estas fracciones serán objeto de estudio en el futuro.

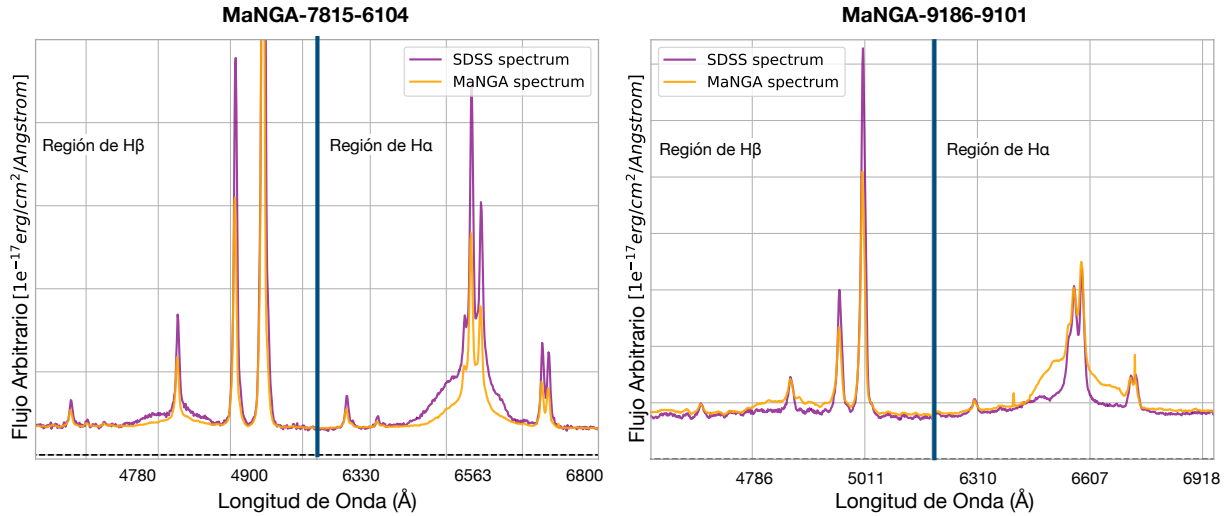


Figura 4.10: Similar a la Figura 4.9 Panel Izquierdo: Galaxia MaNGA-7815-6104. El espectro de una sola fibra corresponde al catastro DR15 del SDSS con un intervalo de tiempo entre espectros de 12 años. Panel Derecho: Galaxia MaNGA-9186-9101. El espectro de una sola fibra corresponde al catastro DR15 del SDSS con un intervalo de tiempo entre espectros de 9 años. El panel izquierdo muestra un caso de decremento y el panel derecho un caso de incremento en la actividad nuclear.

4.5.3. Objetos variables en solo una región

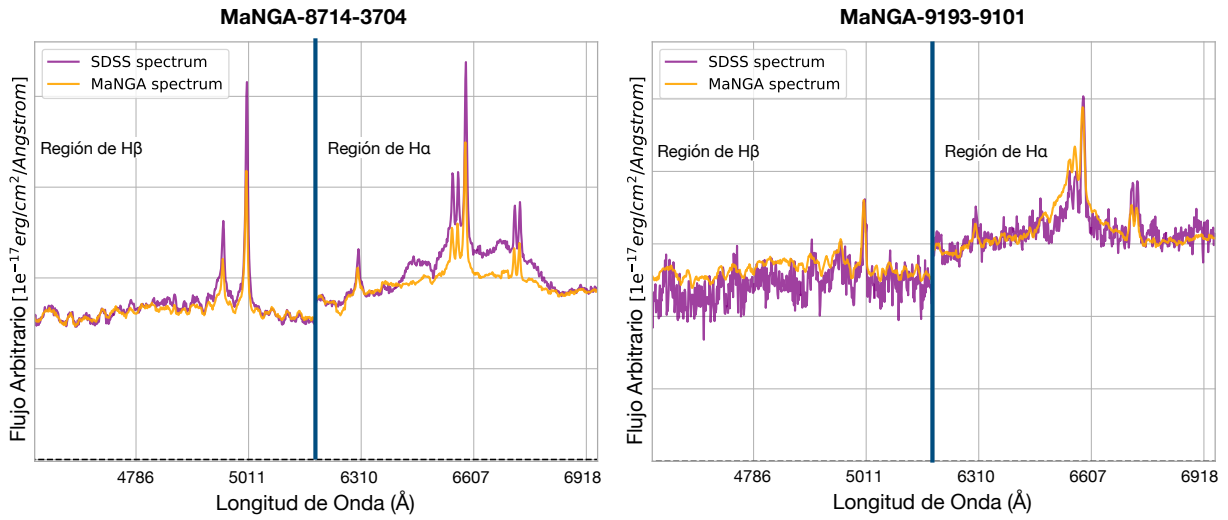
Así mismo, encontramos casos donde la variabilidad solo es evidente en una región lo cual evidenciaría que en algunos objetos, las regiones donde se emiten $H\alpha$ y $H\beta$ pueden ser diferentes.

En la figura 4.11a se muestra la variabilidad solo en la región de $H\alpha$ mientras que en la figura 4.11b se muestra la variabilidad solo en la región de $H\beta$. Los objetos que solo muestran variabilidad en la región de $H\alpha$ son 31 de los cuales 24 tienen decremento en su actividad y 7 tienen un incremento. En cuanto a los objetos que solo varían en la región de $H\beta$, se tienen solo 3 objetos, 1 con decremento y dos con incremento. El porque se tiene una mayor de objetos con variación en $H\alpha$ se debe porque gran parte de nuestra muestra tiene el espectro dominado por la galaxia anfitriona (53 de las 103), lo cual no deja visualizar directamente a la componente ancha de $H\beta$ (si la hay). También se debe a que la línea de $H\alpha$ es tres veces más intensa que la línea de $H\beta$ (Greene y Ho, 2005; Netzer, 2013), y al tratarse una muestra de AGNs de baja luminosidad, es complicado que se muestra dicha componente ancha.

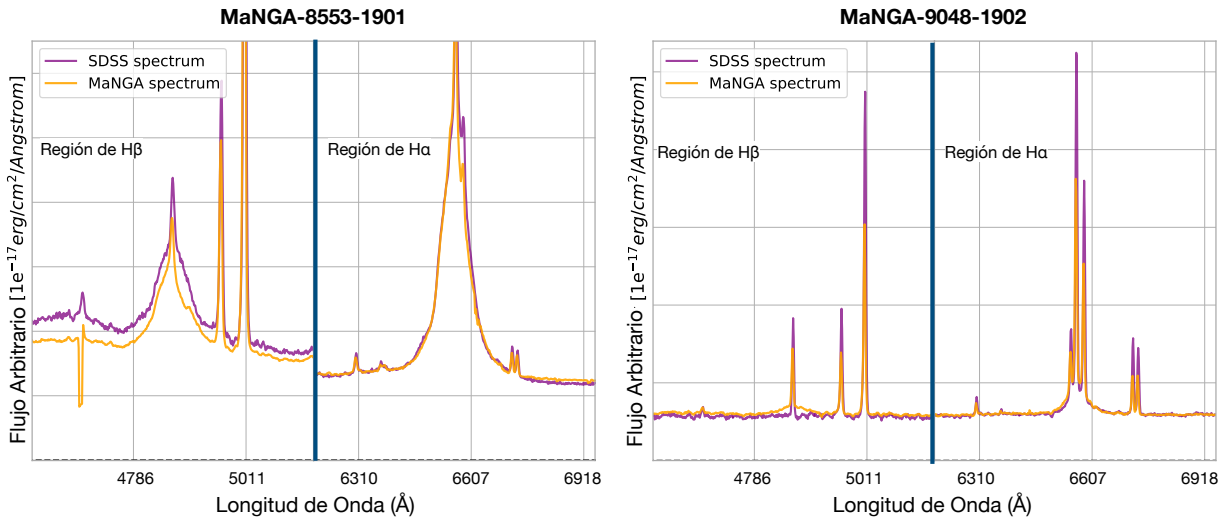
4.5.4. Objetos encendidos y apagados

Por último, se caracterizó un pequeño grupo de 4 objetos que muestran un apagado y encendido de la actividad nuclear.

En la figura 4.12 se muestra un ejemplo de apagado (panel izquierdo) y encendido (panel de-



(a) Variabilidad en la región de $H\alpha$.



(b) Variabilidad en la región de $H\beta$.

Figura 4.11: Ejemplos de variabilidad en una sola región. Panel superior izquierdo: Galaxia MaNGA-8714-3704. El espectro de SDSS DR15 fue observado en 2013 y el de MaNGA en 2016, con un intervalo de tiempo entre espectros de 3 años. Panel superior derecho: Galaxia MaNGA-9193-9101. El espectro SDSS DR7 fue observado en el 2000 mientras que el de MaNGA en 2016 con un intervalo de tiempo entre espectros de 16 años. Panel inferior izquierdo: Galaxia MaNGA-8553-1901. El espectro de SDSS DR7 fue observado en 2002 y el de MaNGA en 2016, con un intervalo de tiempo entre espectros de 14 años. Panel superior derecho: Galaxia MaNGA-9048-1902. El espectro SDSS DR7 fue observado en el 2005 mientras que el de MaNGA en 2017 con un intervalo de tiempo entre espectros de 12 años. Al igual que en 4.9 El panel izquierdo muestra un caso de decremento y el panel derecho un caso de incremento en la actividad nuclear.

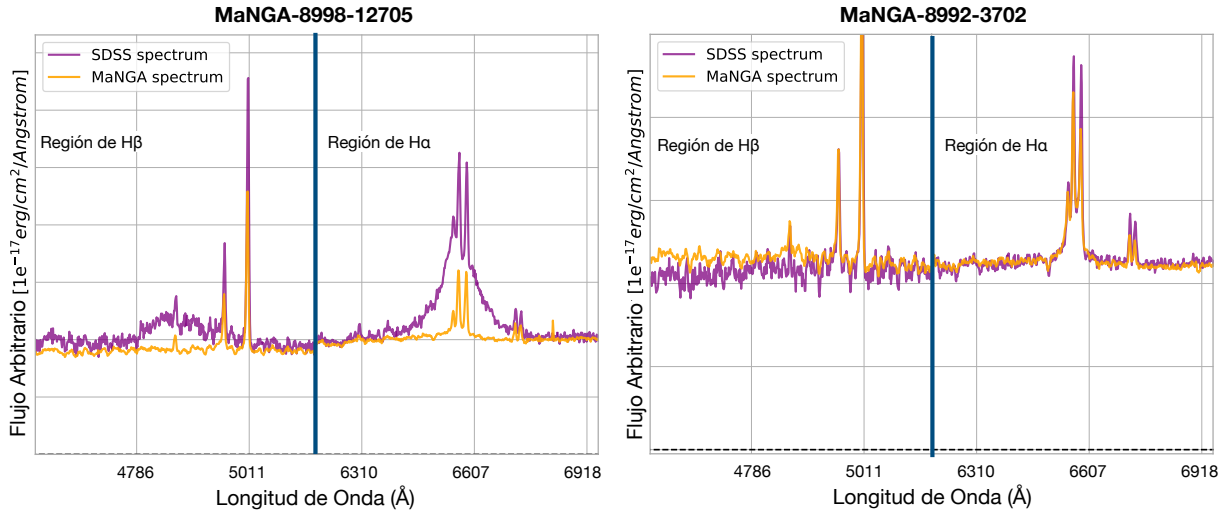


Figura 4.12: Panel izquierdo: Galaxia MaNGA-8998-12705. El espectro de SDSS DR7 fue observado en 2003 y el de MaNGA en 2017, con un intervalo de tiempo entre espectros de 14 años. Panel superior derecho: Galaxia MaNGA-8992-3702. El espectro SDSS DR7 fue observado en el 2002 mientras que el de MaNGA en 2017 con un intervalo de tiempo entre espectros de 15 años. El panel izquierdo es un ejemplo de apagado y el panel derecho un ejemplo de encendido en la actividad nuclear.

recho) de la actividad nuclear. Están clasificados de esta forma ya que, en el caso de los 2 objetos que consideramos apagados, los catálogos de SDSS (Stern y Laor, 2012; Oh et al., 2015; Liu et al., 2019) los tienen clasificados como AGNs tipo 1 pero nuestro método y con el posterior análisis utilizando diagramas BPT, no logramos clasificarlas como AGN. Para los casos de encendido ocurrió lo opuesto aunque son considerados marginales por la apenas visible presencia de la componente ancha de $H\alpha$.

Finalmente, la fracción de objetos encontrados que muestran un cierto grado de variabilidad es del 84% de 96 AGNs tipo 1, la cual, es una muestra muy grande y se le dará seguimiento en el futuro. Una galaxia en particular ya ha sido observada cuatro veces y fue presentada en el primer artículo (Cortes-Suárez et al., 2022) en un apéndice. Se trata de MaNGA-8714-3704 y es una galaxia especial porque muestra 3 componentes anchas que podrían estar relacionadas con la región de líneas anchas y el disco de acreción del AGN.

La figura 4.13 muestra cuatro espectros en la región de $H\alpha$ de la galaxia 8714-3704 observados en diferentes años. En ella, podemos notar la presencia de múltiples componentes anchas cuya intensidad ha variado en un intervalo de 15 años. Otro objeto que está en estudio y que muestra el mismo espectro es la galaxia UNAM-KIAS 613 (Lacerna et al., 2016), en la cual estamos explorando modelos de disco de acreción y esperamos publicar pronto.

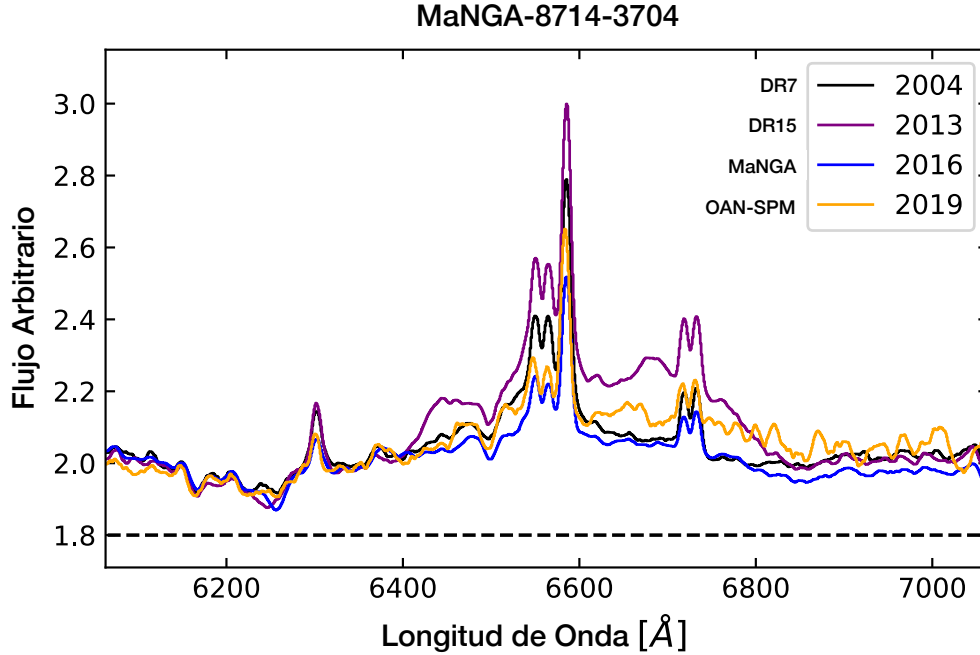


Figura 4.13: Comparación de cuatro espectros de la galaxia MaNGA-8714-3704 en la región de $H\alpha$. Las diferentes líneas corresponden a diferentes observaciones realizadas por SDSS (DR7 negro, DR15 púrpura), MaNGA (azul) y por nosotros en el OAN-SPM (amarillo). El espectro del OAN-SPM forma parte de un programa de seguimiento observacional de este tipo de objetos. Esta figura se encuentra también en Cortes-Suárez et al., 2022.

4.6. Estimación de parámetros de los AGNs Tipo 1

Después de realizar el mejor ajuste de los perfiles de línea de emisión, *Specfit* (Kriss, 1994) proporciona una tabla con los parámetros del ajuste: la ley de potencias utilizada, la intensidad de las líneas de Fe II (si es que están presentes) y el flujo, el valor del centroide y el FWHM virial de todas las líneas de emisión ajustadas. En la Tabla 4.2 se reportan únicamente los utilizados para estimar **la masa del agujero negro supermasivo y el cociente de Eddington. Para estimar las luminosidades de la componente ancha de $H\alpha$ y del continuo a 5100 \AA , se utilizó el flujo estimado del ajuste con *Specfit* y se calculó su distancia lumínica con la ecuación 1.4. Esta ecuación funciona bien para dar un estimación de la distancia a la que se encuentran los objetos de bajo corrimiento al rojo como las de la muestra ($z < 0.15$). Para comprobarlo, se estimó de otras dos formas diferentes notando pequeñas diferencias que están dentro de los errores considerados. Este análisis se puede ver en el apéndice A.** Debido a que los espectros residuales de Starlight y QDeblend3D pueden ser diferentes, se decidió realizar una comparación de ambos graficando los FWHM de $H\alpha$ y $H\beta$ de las líneas anchas, así como la luminosidad del continuo del AGN a 5100 \AA . La figura 4.14 muestra en la abscisa los valores obtenidos con el espectro de Star-

light y en la ordenada los valores obtenidos con el de QDeblend3D. Para los AGNs con múltiples componentes se hizo la suma cuadrática de los FWHM para tener un valor representativo, es decir:

$$\text{FWHM} = \sqrt{\text{FWHM}_1^2 + \text{FWHM}_2^2 + \text{FWHM}_3^2} \quad (4.1)$$

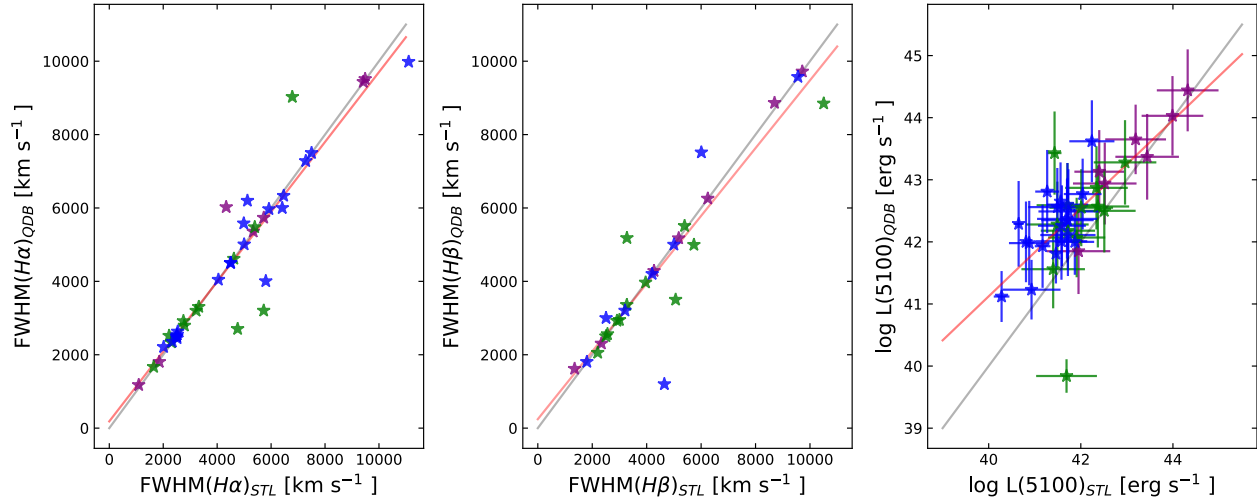


Figura 4.14: Diagramas donde se comparan los parámetros de las líneas anchas obtenidos con los espectros de Starlight y QDeblend3D para la muestra de 47 AGNs tipo 1. Panel izquierdo: FWHM de la línea ancha de $H\alpha$ estimada con el espectro de Starlight (abscisa) y con el espectro de QDeblend3D (ordenada). Panel central: Lo mismo que en el panel izquierdo pero para la línea ancha de $H\beta$. Panel derecho: El logaritmo de la luminosidad en el continuo a 5100\AA . Las líneas grises representan la relación 1:1 mientras que las líneas rojas representan el mejor ajuste lineal. Los símbolos de colores representan al grupo que pertenece cada AGN de acuerdo a su clasificación en la sección 3.3: AGN dominante (púrpura), intermedio (verde) y galaxia dominante (azul).

Salvo en casos muy puntuales, los ajustes demuestran resultados similares. Las líneas grises muestran la relación 1:1 mientras que las líneas rojas al mejor ajuste lineal. Para el caso del $\text{FWHM}(H\alpha)$ la pendiente tiene un valor de 0.95 ± 0.06 mientras que para el $\text{FWHM}(H\beta)$ ésta tiene un valor de 0.92 ± 0.07 , ambos valores muy cercanos a 1 y con un R^2 de 0.89 y 0.86 respectivamente. En el caso de las luminosidades a 5100\AA tenemos una mayor dispersión y esto se debe a que los continuos mostraban muchas diferencias en los casos AGN Dominante (Starlight falla) y Galaxia Dominante (QDeblend3D falla). La pendiente del mejor ajuste lineal es de 0.71 ± 0.11 con un $R^2 = 0.52$. Aún así la tendencia creciente es evidente. Para darle solución a las fallas, se tiene que considerar un nuevo código. Una modificación a QDeblend3D donde se mejore la construcción de la PSF utilizando únicamente la componente ancha de $H\alpha$ puede ser una buena solución.

Otro resultado que podemos notar es el amplio intervalo de valores encontrados de FWHM en esta muestra de AGNs Tipo 1, que va de los 1000 a $11,000\text{ km s}^{-1}$. Para el caso del $\text{FWHM}(H\alpha)$

MaNGA-ID	Starlight				QDeblend3D			
	Log L ₅₁₀₀	FWHM _{Hα}	FWHM _{Hβ}	Log L _{HαBC}	Log L ₅₁₀₀	FWHM _{Hα}	FWHM _{Hβ}	Log L _{HαBC}
7815-6104	42.40±0.54	5337.70±7.07	5175.86±22.56	42.14±0.67	43.13±0.67	5358.56±16.44	5176.23±10.21	42.36±0.74
7968-3701	41.72±0.59	2218.64±1.74	2503.56±8.22	40.47±0.66	42.18±0.63	2517.89±41.61	2504.19±8.62	40.36±0.73
7972-3704	41.73±0.65	5001.18±1.86	4201.38±1.96	40.31±0.67	42.49±0.68	5008.45±3.41	4203.78±5.06	40.58±0.72
7977-9101	42.01±0.69	1645.61±1.13	2200.59±3.67	41.15±0.69	42.55±0.62	1669.58±13.04	2054.84±6.65	41.33±0.71
7991-1901	45.03±0.68	1591.39±6.83	2297.73±4.72	43.47±0.68	-	-	-	-
7991-6104	40.88±0.44	4047.17±4.62	-	40.14±0.63	41.98±0.68	4045.79±4.11	-	40.59±0.72
8132-6101	42.24±0.49	4986.84±6.64	5832.40±11.11	41.38±0.56	43.62±0.66	5580.93±7.01	-	41.65±0.77
8135-1902	44.32±0.67	1853.20±35.87	2336.14±6.39	43.29±0.67	44.44±0.66	1806.05±13.81	2306.49±28.20	43.49±0.76
8144-3702	42.04±0.41	2520.41±3.70	-	41.09±0.54	42.77±0.57	2551.31±16.64	-	41.41±0.66
8158-3704	41.87±0.42	5919.97±1.70	6008.98±4.54	41.14±0.68	42.00±0.53	5969.53±4.28	7515.61±26.98	41.33±0.73
8241-9102	41.72±0.59	4020.83±3.13	-	40.66±0.63	-	-	-	-
8320-6101	40.28±0.17	2537.80±7.01	2506.81±7.77	39.81±0.58	41.12±0.41	2633.70±6.57	3001.90±0.00	40.36±0.71
8326-6102	42.96±0.68	2749.74±1.08	2908.09±2.97	41.57±0.68	43.28±0.68	2918.02±6.88	2926.75±10.60	41.83±0.74
8341-12704	41.49±0.68	3220.95±3.23	3273.91±5.77	40.73±0.67	42.28±0.69	3201.84±3.20	5181.91±14.93	40.86±0.72
8446-1901	41.69±0.66	2303.10±1.71	2999.99±3.99	40.48±0.69	39.84±0.27	2336.93±12.43	2948.96±51.45	40.64±0.71
8466-3704	41.43±0.15	6786.70±7.28	10504.57±18.99	41.91±0.62	43.43±0.67	9028.05±19.33	8848.94±31.11	42.26±0.76
8547-12701	41.58±0.56	6413.39±9.06	-	40.56±0.51	42.01±0.62	6000.03±14.28	-	40.78±0.72
8549-12702	41.91±0.62	4619.39±2.77	3960.04±12.65	41.39±0.68	42.07±0.64	4618.02±20.04	3969.97±22.27	41.56±0.72
8553-1901	43.44±0.69	9487.28±37.50	8697.64±15.80	42.26±0.68	43.37±0.69	9515.54±19.61	8865.39±52.38	42.42±0.72
8553-9102	42.34±0.68	5393.52±1.59	5392.72±11.90	41.26±0.67	42.87±0.67	5477.79±14.13	5510.70±38.73	41.52±0.74
8603-6101	40.65±0.11	2513.07±2.18	1801.74±5.91	40.18±0.67	42.29±0.69	2451.15±7.41	1807.03±80.93	41.03±0.72
8606-12701	41.27±0.26	7500.00±2.18	-	40.65±0.66	42.81±0.67	7500.00±0.00	-	41.09±0.73
8615-3701	42.68±0.67	3828.26±1.98	4819.87±6.64	41.42±0.67	-	-	-	-
8713-9102	42.52±0.69	1090.45±1.10	1351.32±1.92	41.29±0.69	42.94±0.66	1176.09±5.51	1618.20±5.33	41.47±0.72
8714-3704	41.46±0.03	11100.82±5.92	9556.69±16.63	41.54±0.65	41.81±0.48	9984.64±23.84	9573.11±76.73	41.62±0.73
8718-12701	41.59±0.52	7284.49±2.64	-	40.33±0.65	42.26±0.65	7280.34±2.14	-	40.84±0.73
8725-9102	41.71±0.67	5725.71±2.02	5735.67±8.78	40.71±0.67	42.59±0.68	3203.56±3.39	4997.24±6.80	41.01±0.73
8940-12702	41.49±0.63	5123.08±3.18	-	40.99±0.68	42.56±0.63	6198.61±8.69	-	41.28±0.71
8978-6104	41.32±0.37	7142.83±5.22	-	40.59±0.61	-	-	-	-
8983-3704	42.37±0.68	2785.30±2.78	2559.76±6.24	41.15±0.67	42.57±0.66	2795.85±4.78	2561.75±12.35	41.25±0.73
8990-12705	40.81±0.02	2015.24±4.02	-	39.89±0.61	42.00±0.65	2212.20±2.42	-	40.01±0.72
8992-3702	41.40±0.69	3318.44±2.65	3269.96±3.83	40.11±0.67	41.56±0.63	3306.10±27.94	3359.92±34.79	40.39±0.71
9000-1901	41.95±0.69	5726.43±17.34	6245.06±4.49	41.46±0.69	41.85±0.69	5734.95±20.20	6257.03±27.11	41.60±0.71
9036-6101	41.70±0.65	2499.84±1.69	3204.05±2.88	40.50±0.66	42.37±0.64	2496.78±4.31	3205.10±6.50	40.79±0.73
9048-1902	42.51±0.68	4759.48±0.81	5063.22±4.22	41.34±0.66	42.50±0.67	2704.71±11.58	3501.39±10.47	41.47±0.73
9181-12702	41.71±0.57	2494.19±4.17	-	40.63±0.61	42.35±0.68	2504.30±8.42	4203.15±14.69	40.90±0.72
9182-6102	41.72±0.60	4004.58±1.94	-	40.08±0.64	42.11±0.66	4005.92±6.59	1199.56±53.36	40.21±0.72
9193-12704	43.19±0.66	4334.88±14.97	4270.10±7.07	42.52±0.67	43.65±0.56	4315.43±12.55	4284.81±13.99	42.62±0.76
9193-9101	41.58±0.64	7948.36±23.25	4206.66±5.47	41.11±0.66	-	-	-	-
9194-6101	42.19±0.51	3454.61±1.43	2300.40±1.88	40.90±0.63	-	-	-	-
9194-6103	41.17±0.17	6466.97±8.91	-	40.38±0.59	41.93±0.67	6333.33±28.83	5204.99±83.58	40.81±0.72
9196-12703	41.56±0.02	4496.41±3.46	-	41.02±0.65	42.65±0.63	4501.55±6.46	-	41.18±0.74
9487-3702	41.71±0.45	4503.41±10.80	5001.56±5.18	41.03±0.63	42.60±0.67	4504.82±3.44	5001.95±3.78	41.34±0.73
9487-9102	43.11±0.62	1778.26±2.46	1708.96±4.74	42.50±0.68	-	-	-	-
9497-12705	43.99±0.67	9417.32±65.60	9718.58±48.01	43.10±0.66	44.03±0.64	9437.50±52.23	9720.34±1578.18	43.27±0.76
9500-1901	43.33±0.64	4848.36±3.54	6080.83±84.36	42.70±0.67	-	-	-	-
9881-1902	40.93±0.63	2338.90±7.70	-	39.69±0.45	41.23±0.48	2355.90±7.82	1600.30±3.87	40.03±0.71

Cuadro 4.2: Parámetros de las líneas de emisión estimadas con *Specfit*. Se reportan el logaritmo de las luminosidades del continuo en 5100Å en unidades de $\text{erg s}^{-1} \text{Å}^{-1}$, el FWHM de las líneas anchas de H α y H β (si está presente) en km s^{-1} , así como el logaritmo de la luminosidad de la línea ancha de H α en unidades de erg s^{-1} , tanto para el espectro de Starlight como para el espectro de QDeblend3D.

el valor más pequeño es de $\sim 1100 \text{ km s}^{-1}$ que pertenece a la galaxia 8713-9102 la cual es una NLSy1. El valor más alto encontrado es de $\sim 11,100 \text{ km s}^{-1}$, el cual corresponde a la galaxia 8714-3704. Este AGN muestra 3 componentes anchas pudiendo ser producto de la dinámica de la BLR y del disco de acreción. En el caso del $\text{FWHM}(H\beta)$, el valor más pequeño encontrado es de $\sim 1200 \text{ km s}^{-1}$ para la galaxia 9182-6102, aunque esta componente solo es visible en el espectro de QDeblend3D. Le sigue 8713-9102 con un $\text{FWHM}(H\beta) \sim 1350 \text{ km s}^{-1}$ cuya componente si es visible en ambos espectros. El valor más alto encontrado es de $\sim 10,500 \text{ km s}^{-1}$ en la galaxia de 8466-3704, la cual muestra dos componentes anchas de $H\beta$. Nuevamente, estas componentes pueden ser visualizadas en la figura D.1. En el caso de las luminosidades del continuo a 5100\AA , están cubren un intervalo en escala de logaritmo de 39.8 a 45 erg s^{-1} . Estos valores corresponden a AGNs de luminosidad baja a intermedia lo cual corresponde con el tipo de muestra obtenido ya que estos AGNs tienen un bajo corrimiento al rojo, aunque los objetos con luminosidades mayores a 44 ya entran dentro de la categoría de luminosos y eso da indicios a que estos AGNs acretan grandes cantidades de gas. Estos resultados nos indican que, aunque se trate de una muestra de AGNs Tipo 1 de baja luminosidad y a bajo corrimiento al rojo, la dinámica del gas que produce estas líneas es tan variada e intensa, que es comparable a la observada en cuasares, que son los AGNs más lejanos y luminosos que han sido observados.

4.6.1. La Masa de los Agujeros Negros

Con los datos mostrados en la sección anterior, se procedió a estimar los parámetros observables de un núcleo activo. Para empezar, se estimó la masa del agujero negro supermasivo con la ecuación 1.1 de Vestergaard y Peterson, 2006 (VP06) mostrada en el capítulo 1. Esta fórmula requiere del $\text{FWHM}(H\beta)$ de la componente ancha y de la luminosidad en 5100\AA , cantidades que se encuentran en la tabla 4.2. Sin embargo, no todos los AGNs tienen la línea ancha de $H\beta$, solo 33 fueron encontradas en los espectros de Starlight (70 %) y 30 en los espectros de QDeblend3D (64 %). Para los casos donde esta línea no fue visible utilizamos la relación de Shen et al., 2008, la cual nos da un estimado de la anchura que tendría esta línea a partir de la de $H\alpha$.

$$\frac{\text{FWHM}(H\beta)}{10^3 \text{ km s}^{-1}} = (1,16 \pm 0,02) \left(\frac{\text{FWHM}(H\alpha)}{10^3 \text{ km s}^{-1}} \right)^{0,99 \pm 0,02} \quad (4.2)$$

En la tabla 4.3 se reporta la masa de los agujeros negros supermasivos para los 47 AGNs Tipo 1. Dado que en la sección anterior notamos que los FWHM estimados con los espectros de Starlight y QDeblend3D no difieren demasiado, se estimó individualmente la masa y reportar el promedio de ambas cantidades. Por otro lado, dado que en esta muestra todas las galaxias si tienen la componente ancha de $H\alpha$, utilizamos la relación de Greene y Ho, 2005 (GH05) también para hacer esta estimación. La ecuación 1.2 requiere del $\text{FWHM}(H\alpha)$ y la luminosidad de la línea ancha de $H\alpha$, ambas cantidades reportadas en la tabla 4.2.

MaNGA-ID	z	D_{Lum}	$\log(M_{BH}(VP06))$	$\log(M_{BH}(GH05))$
7815-6104	0.0807	375.80±39.43	7.72±0.07	7.75±0.05
7968-3701	0.0515	235.73±24.34	6.68±0.07	5.98±0.06
7972-3704	0.0425	193.12±19.84	7.21±0.06	6.67±0.05
7977-9101	0.0266	119.67±12.18	6.71±0.06	6.13±0.05
7991-1901*	0.0930	436.63±46.07	8.15±0.05	7.37±0.06
7991-6104	0.0282	127.14±12.94	6.96±0.07	6.43±0.05
8132-6101	0.1294	620.65±66.62	7.94±0.07	7.33±0.06
8135-1902	0.1180	562.23±60.04	7.83±0.06	7.45±0.06
8144-3702	0.0979	376.06±48.73	7.04±0.08	6.52±0.07
8158-3704	0.0569	261.14±27.03	7.53±0.08	7.27±0.05
8241-9102*	0.0665	307.33±31.98	7.10±0.06	6.59±0.06
8320-6101	0.0266	119.65±12.16	6.14±0.13	5.87±0.06
8326-6102	0.0704	325.90±33.98	7.40±0.06	6.88±0.05
8341-12704	0.0303	137.00±13.96	7.08±0.06	6.47±0.05
8446-1901	0.0237	106.35±10.79	6.24±0.09	6.05±0.05
8466-3704	0.1072	507.76±53.95	8.10±0.11	8.00±0.05
8547-12701	0.0449	204.53±21.03	7.50±0.07	6.99±0.06
8549-12702	0.0433	197.32±20.27	7.10±0.06	7.19±0.05
8553-1901	0.0302	136.45±13.90	8.50±0.06	8.32±0.05
8553-9102	0.0737	341.79±35.70	7.69±0.06	7.28±0.05
8603-6101	0.0312	140.82±14.36	6.16±0.13	6.13±0.05
8606-12701	0.0633	292.01±30.33	7.79±0.09	7.27±0.05
8615-3701*	0.0618	284.70±29.55	7.62±0.05	6.98±0.05
8713-9102	0.0332	150.00±15.31	6.62±0.06	5.87±0.05
8714-3704	0.0517	236.61±24.42	7.69±0.15	7.98±0.05
8718-12701	0.0499	228.23±23.53	7.71±0.07	7.08±0.05
8725-9102	0.0491	224.14±23.10	7.44±0.06	6.77±0.05
8940-12702	0.0267	120.43±12.25	7.54±0.06	7.17±0.05
8978-6104*	0.0493	225.36±23.23	7.39±0.09	7.07±0.06
8983-3704	0.0621	286.04±29.69	6.96±0.06	6.58±0.05
8990-12705	0.0372	168.84±17.28	6.38±0.14	5.61±0.06
8992-3702	0.0264	118.95±12.09	6.69±0.06	6.19±0.05
9000-1901	0.0207	92.80±9.40	7.45±0.05	7.41±0.05
9036-6101	0.0598	275.31±28.54	6.94±0.06	6.16±0.05
9048-1902	0.0503	230.03±23.72	7.41±0.06	6.92±0.05
9181-12702	0.0408	185.56±19.03	7.00±0.06	6.23±0.06
9182-6102	0.0403	182.88±18.75	7.19±0.06	6.30±0.05
9193-12704	0.1074	508.77±54.06	7.88±0.06	7.75±0.05
9193-9101*	0.0451	205.35±21.11	6.95±0.05	7.46±0.06
9194-6101*	0.0840	392.46±41.22	6.73±0.07	6.59±0.06
9194-6103	0.0308	138.99±14.17	7.27±0.11	6.98±0.06
9196-12703	0.0819	376.49±40.01	7.38±0.14	6.95±0.05
9487-3702	0.0538	246.66±25.49	7.39±0.07	6.99±0.05
9487-9102*	0.0410	186.26±19.10	6.93±0.05	6.92±0.05
9497-12705	0.1170	557.19±59.47	8.89±0.11	8.80±0.05
9500-1901*	0.0508	232.40±23.97	8.14±0.06	7.93±0.05
9881-1902	0.0270	121.63±12.37	6.31±0.07	5.66±0.07

Cuadro 4.3: Estimación de las masas de los agujeros negros supermasivos para la muestra de AGNs Tipo 1. La distancia lumínica se muestra en Mpc y las masas en escala de logaritmo. Se utilizaron las relaciones VP06 y GH05 para hacer este cálculo. Las galaxias con asterisco (*) son aquellas a las que no se pudo obtener su espectro con QDeblend3D.

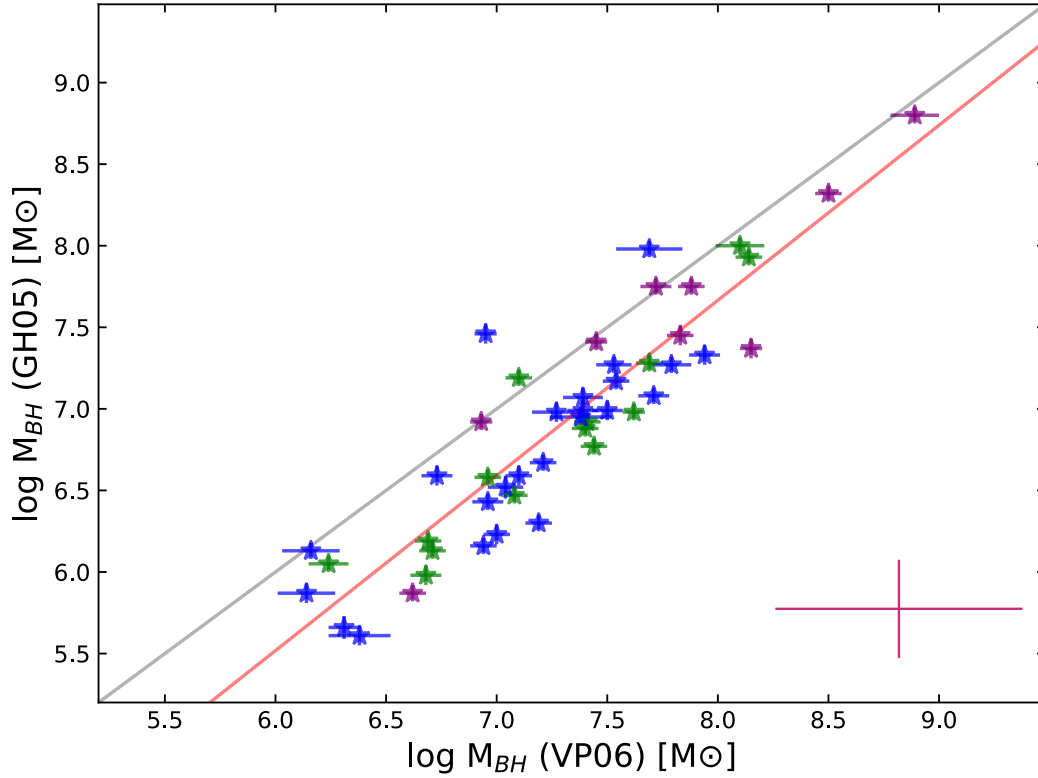


Figura 4.15: Masas de los agujeros negros supermasivos estimadas con las relaciones de Vestergaard y Peterson, 2006 (abscisa) y de Greene y Ho, 2005 (ordenada) para los 47 AGNs tipo 1. La línea gris representa la relación 1:1 mientras que la línea roja muestra nuestro mejor ajuste lineal. Los símbolos de colores representan al grupo que pertenece cada AGN de acuerdo a su clasificación en la sección 3.3: AGN dominante (púrpura), intermedio (verde) y galaxia dominante (azul). La cruz púrpura representa el valor promedio de los errores sistemáticos de las masas.

Finalmente, en la tabla 4.3 se reportan las masas de los agujeros negros estimadas con ambas relaciones. Éstas se obtuvieron de hacer un promedio entre las masas estimadas con los espectros de Starlight y las masas estimadas utilizando los espectros de QDeblend3D. El hacer esto nos da una dispersión promedio de ~ 0.18 dex para GH05 y de ~ 0.37 dex para VP06. En promedio, los errores típicos de las masas encontrados van de los ± 0.05 dex con la relación de GH05 a los ± 0.07 dex con la relación de VP06. No obstante, no se está considerando la dispersión antes mencionada y tampoco las desviaciones intrínsecas de cada método. Éstas son ± 0.20 dex para la relación de GH05 y de ± 0.43 dex para la de VP06. Haciendo una suma cuadrática, los errores promedios finales para las masas estimadas son de ± 0.27 dex para GH05 y de ± 0.57 dex para VP06. En los casos donde no se pudo obtener el espectro de QDeblend3D, se reportó la masa estimada con los espectros de Starlight.

En la figura 4.15 se muestra la comparación de ambos resultados. El mejor ajuste lineal tiene

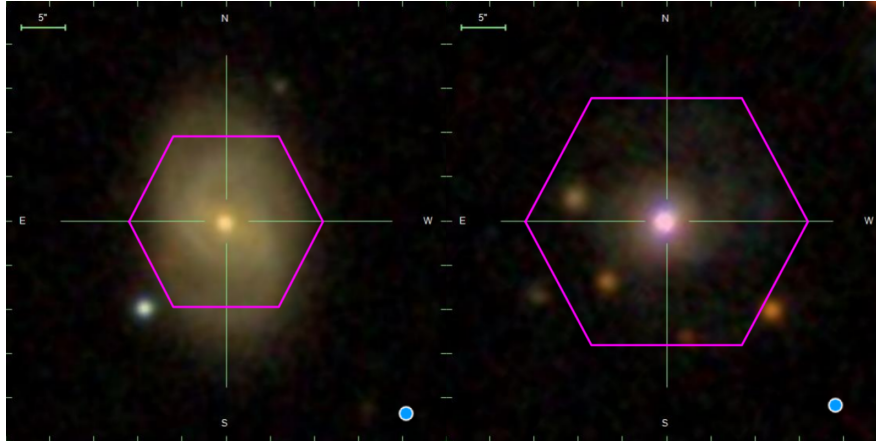


Figura 4.16: En esta figura se muestra a la galaxia MaNGA-8320-6101 de lado izquierdo, la cual, hospeda al agujero negro supermasivo con menos masa mientras que, de lado derecho, se muestra a la galaxia MaNGA-9497-12705 que es la que hospeda al de mayor masa en esta muestra. Los hexágonos púrpuras respresentan el campo de visión (FoV) de las observaciones IFS del proyecto MaNGA.

una pendiente de 1.074 ± 0.074 con un $R^2=0.83$. En esta figura podemos ver que la relación de VP06 nos da valores 0.5 dex más grandes que la relación de GH05, especialmente para los agujeros negros menos masivos. Salvo ese detalle, la relación tiene una pendiente muy cercana a 1 por lo que ambos indicadores son buenos para hacer este cálculo. En cuanto a los valores obtenidos, tenemos que con la relación de VP06, la menor masa encontrada es de ~ 6.14 y corresponde a la galaxia 8320-6101 mientras que la masa más alta encontrada es de ~ 8.89 y se encuentra en 9497-12705. Con la relación de GH05, se encontró una masa mínima de ~ 5.61 en la galaxia 8990-12705 y la galaxia con el agujero negro más masivo igual se encuentra en 9497-12705 con una masa de ~ 8.80 . Con estos resultados se concluye que la masa de los agujeros negros supermasivos de esta muestra de AGNs Tipo 1 cubre un intervalo de 5.61 a 8.89 en escala de logaritmo. Éste intervalo de masas cae dentro del rango de baja masa e intermedios. En la figura 4.16 se muestran las galaxias 8320-6101 y 9497-12705, las galaxias huesped de los agujeros negros supermasivos con menor y mayor masa de esta muestra, respectivamente. Al compararlas, se puede notar un núcleo menos brillante y la forma de la galaxia más definida en el caso menos masivo. Para el más masivo, el núcleo es más brillante que la galaxia huesped y la forma de ésta no esta bien definida por baja visibilidad. Se pueden apreciar algunas colas de marea, posiblemente relacionado a un proceso de fusión entre galaxias. Todas éstas propiedades se explorarán en el siguiente capítulo y el como afectan la actividad nuclear.

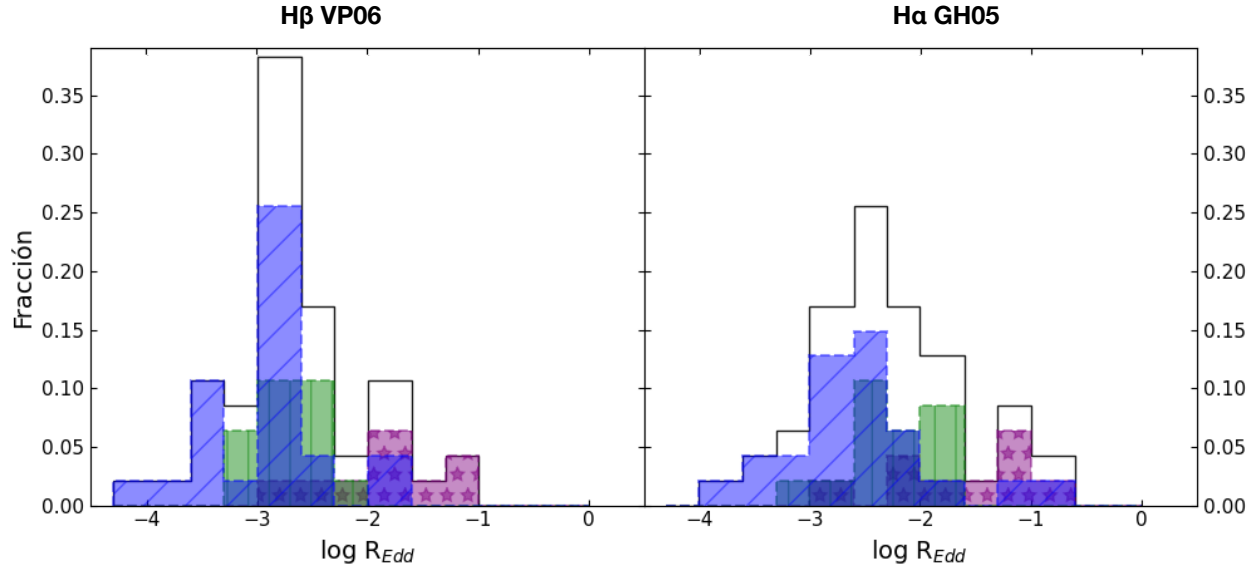


Figura 4.17: Distribución de los cocientes de Eddington usando la M_{BH} estimada con VP06 (izquierda) y GH05 (derecha). La línea negra es el total de la muestra, la azul representa los objetos galaxia dominante, la verde los intermedios y la púrpura los AGN dominante.

4.6.2. Cociente de Eddington

A partir de las masas de los agujeros negros, se pueden estimar otros parámetros relacionados con la actividad nuclear, para conocer el estado de la acreción de gas en el agujero negro supermasivo. La acreción de material en objetos masivos y la liberación de energía gravitacional asociada, son fuentes importantes de radiación en astrofísica. Las dos cantidades fundamentales que están relacionadas con estos procesos son la Luminosidad de Eddington y el Cociente de Eddington y dependen fuertemente de la geometría (acreción esférica o no esférica). En el caso de un AGN, el objeto masivo se trata del agujero negro supermasivo en donde cae gas completamente ionizado. Este gas de partículas, localizado a una distancia r del agujero negro con masa M_{BH} , esta siendo sometido a dos fuerzas. La primera es la que ejerce la presión de radiación que actúa sobre una partícula de gas que evita que caiga hacia la fuente puntual, f_r , y la segunda es la fuerza gravitacional, f_g , que ejerce el agujero negro por partícula. Una acreción esférica del gas completamente ionizado hacia la fuente central se dará siempre que $f_g > f_r$. Entonces, el requerimiento mínimo para que se dé la acreción, $f_g = f_r$, nos permite definir a la luminosidad de Eddington como:

$$L_{Edd} = \frac{4\pi c G M_{BH} \mu m_p}{\sigma_T} \approx 1,5 \times 10^{38} (M_{BH}/M_{\odot}) \text{ erg s}^{-1} \quad (4.3)$$

donde μ es el peso molecular promedio y σ_T la sección eficaz de Thomson pero se puede escalar directamente con la masa del agujero negro. Esta luminosidad es la máxima permitida que

MaNGA-ID	L_{bol}	$L_{Edd}(VP)$	$L_{Edd}(GH)$	$R_{Edd}(VP)$	$R_{Edd}(GH)$
7815-6104	44.38	45.90	45.93	0.031	0.028
7968-3701	41.63	44.86	44.16	0.001	0.003
7972-3704	42.21	45.39	44.85	0.001	0.002
7977-9101	42.15	44.88	44.31	0.002	0.007
7991-1901	44.37	46.32	45.54	0.011	0.067
7991-6104	42.38	45.13	44.61	0.002	0.006
8132-6101	43.16	46.12	45.50	0.001	0.005
8135-1902	44.86	46.01	45.63	0.072	0.173
8144-3702	42.31	45.22	44.70	0.001	0.004
8158-3704	42.35	45.71	45.45	0.000	0.001
8241-9102	42.38	45.27	44.77	0.001	0.004
8320-6101	41.44	44.31	44.05	0.001	0.002
8326-6102	43.19	45.58	45.05	0.004	0.014
8341-12704	42.60	45.26	44.65	0.002	0.009
8446-1901	41.88	44.42	44.22	0.003	0.005
8466-3704	43.46	46.27	46.18	0.002	0.002
8547-12701	42.35	45.68	45.17	0.000	0.002
8549-12702	42.24	45.28	45.36	0.001	0.001
8553-1901	44.34	46.68	46.50	0.005	0.007
8553-9102	43.66	45.86	45.46	0.006	0.016
8603-6101	41.98	44.33	44.31	0.004	0.005
8606-12701	42.55	45.97	45.45	0.000	0.001
8615-3701	42.81	45.79	45.16	0.001	0.005
8713-9102	42.83	44.79	44.05	0.011	0.061
8714-3704	42.89	45.87	46.16	0.001	0.001
8718-12701	42.55	45.88	45.26	0.000	0.002
8725-9102	42.57	45.62	44.94	0.001	0.004
8940-12702	42.83	45.72	45.34	0.001	0.003
8978-6104	41.81	45.56	45.25	0.000	0.000
8983-3704	42.81	45.14	44.75	0.005	0.011
8990-12705	42.65	44.56	43.79	0.012	0.072
8992-3702	42.06	44.87	44.36	0.002	0.005
9000-1901	42.81	45.63	45.59	0.002	0.002
9036-6101	43.36	45.11	44.34	0.018	0.106
9048-1902	43.10	45.59	45.09	0.003	0.010
9181-12702	42.40	45.18	44.40	0.002	0.010
9182-6102	42.87	45.37	44.47	0.003	0.025
9193-12704	43.84	46.06	45.92	0.006	0.008
9193-9101	42.25	45.12	45.64	0.001	0.000
9194-6101	42.21	44.91	44.77	0.002	0.003
9194-6103	41.41	45.44	45.15	0.000	0.000
9196-12703	42.70	45.56	45.12	0.001	0.004
9487-3702	42.87	45.56	45.17	0.002	0.005
9487-9102	43.93	45.10	45.09	0.068	0.070
9497-12705	45.19	47.07	46.97	0.013	0.017
9500-1901	43.83	46.32	46.10	0.003	0.005
9881-1902	40.98	44.49	43.83	0.000	0.001

Cuadro 4.4: Luminosidades bolométricas y de Eddington para los 47 AGNs Tipo 1 así como sus respectivos cocientes de Eddington. Se muestran las cantidades derivadas de las relaciones de VP06 y de GH05. Los valores que están en 0.000 indican una cantidad menor a 5×10^{-4} .

puede tener un núcleo activo cuya energía se ha obtenido de un estado de acreción estacionario en una escala de tiempo prolongado. El indicador que se utiliza para conocer el estado de acreción de un núcleo activo es el cociente de Eddington que compara la luminosidad bolométrica con la luminosidad de Eddington. Este cociente se estima con la ecuación 1.6. Para estimar la luminosidad bolométrica, L_{bol} , empleamos la ecuación de Lamastra et al., 2009; $L_{bol} = C_{[OIII]}L_{[OIII]}$, donde $C_{[OIII]}$ es su factor y depende del valor de las luminosidades en [OIII]. Para los 47 AGNs Tipo 1, las luminosidades están en el intervalo 38.7-43.3 en escala de logaritmo (ver tabla 3 de Cortes-Suárez et al., 2022 en la sección 3.4) siendo el promedio 40.6 por lo que utilizamos el factor $C_{[OIII]}=142$ que es el empleado para AGNs con $L_{[OIII]}=40-42$. Las luminosidades bolométricas, de Eddington, así como los cocientes se reportan en la tabla 4.4.

De acuerdo a los cocientes estimados, tenemos ocho objetos con alta acreción ($10^{-2} \leq R_{Edd} \leq 1$) siendo el núcleo activo de la galaxia 8135-1902 el de mayor acreción con $R_{Edd} \sim 0.173$. El resto se considera de baja acreción al tener un $R_{Edd} \leq 10^{-2}$. Por lo anterior, salvo el 23% (11) de objetos que no tienen emisión en FeII (ver Apéndice D), aquellos AGNs con $R_{Edd} \leq 10^{-1}$ pueden clasificarse como objetos de población B dentro del plano óptico Eigenvector 1 (Sulentic et al., 2000). Estos serían el restante 77% (36) de objetos. Este resultado concuerda con el tipo de objetos que componen esta muestra, 70% (33) low luminosity AGNs ($L_{bol} \sim 10^{40-43} \text{ erg s}^{-1}$) de acuerdo a Giustini y Proga, 2019. En la figura 4.17 mostramos la distribución de de los cocientes de Eddington en función de las cantidades estimadas con las relaciones de VP06 (gráfico de la izquierda) y GH05 (gráfico de la derecha). Esta en escala de logaritmo para tener una mejor visualización de los valores mínimos encontrados. Así mismo, se separaron las distribuciones de acuerdo a las familias de AGNs mostrando que, en ambos gráficos, los AGN Dominante son el grupo con las tasas de acreción más altas, seguidos del grupo intermedio y con los Galaxia Dominante como el grupo con las tasas de acreción más baja, aunque se tienen algunas excepciones. En Cortes-Suárez et al., 2022 mostramos 3 galaxias con radio jets observables dentro de la muestra de 47 AGNs tipo 1, 8603-6101, 8714-3704 y 9181-12702 en las imágenes de FIRST en el radio continuo (Becker et al., 1995). Con los datos encontrados en esta tesis, además de haberlas clasificado como Radio Galaxias de baja excitación (LERG), también caen dentro del regimen de baja tasa de acreción, están en el grupo de Galaxia Dominante y son LLAGNs.

4.7. Variabilidad y estado de acreción.

Los diferentes estados de variabilidad encontrados en la muestra nos pueden ayudar a comprender mejor los procesos de alimentación del agujero negro supermasivo a través de los cambios visibles en la región de líneas anchas. Si bien, la caracterización fue de primer orden, se exploró una posible correlación entre las tasas de acreción y los objetos variables.

En la figura 4.18 se muestra la distribución de cocientes de Eddington (línea negra) estimados en

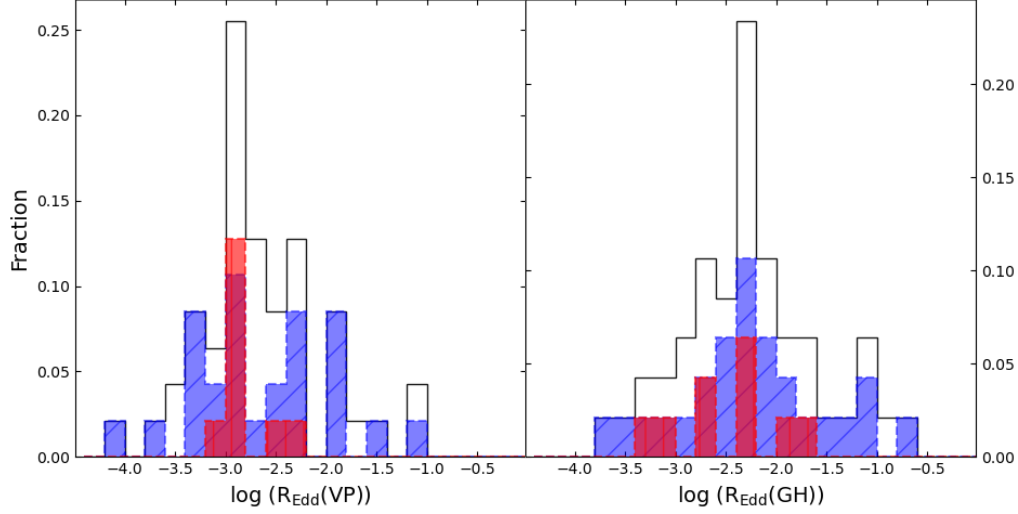


Figura 4.18: Distribuciones del cociente de Eddington separados por incremento (rojo) y decremento (azul) en la intensidad de las componentes anchas. De lado izquierdo se muestran los cocientes obtenidos con la relación VP06 y de lado derecho los obtenidos con GH05.

el capítulo 4 con las ecuaciones de VP06 (panel izquierdo) y GH05 (panel derecho). Se muestra así mismo la distribución de los AGNs con un decremento (azul) y un incremento (rojo) en su actividad, donde podemos ver que los AGNs con un decremento tienen un amplio intervalo de valores en las tasas de acreción mientras que, los que tienen un incremento, se encuentran alrededor de la mediana de la distribución global, con valores por debajo de $\log(R_{Edd}) < -2$, que son considerados de baja acreción. No obstante, este resultado no nos muestra alguna diferencia evidente entre ambas poblaciones. Dado que pudimos separar la muestra de AGNs variables en 5 grupos, quisimos ver su distribución dentro del histograma de cocientes de Eddington.

La figura 4.19 muestra cuatro distribuciones de los cocientes de Eddington. Los de lado izquierdo corresponden a los estimados con VP06 y los de lado derecho con GH05. Los histogramas superiores muestran los grupos *Variable en todo el espectro* (rojo), *Variable solo en $H\alpha$* (verde) y *Variable solo en $H\beta$* (amarillo). Los histogramas inferiores muestran los grupos *Sin variabilidad* (azul) y *Objeto encendido* (púrpura). En los histogramas superiores podemos ver que los AGNs con variabilidad en todo el espectro son los de mayor tasa de acreción mientras que los AGNs que solo varían en $H\alpha$ muestran las tasas de acreción más bajas. En cuanto los AGNs que varían solo en $H\beta$ se encuentran en un punto intermedio. Este resultado nos sugiere que altas tasas de acreción afectan la región de líneas anchas mostrando cambios en la forma e intensidad de las componentes anchas. La región de líneas anchas esta virializada y es algo observado en AGNs luminosos (Rakić, 2022). Sin embargo, con bajas tasas de acreción, característico de AGNs de baja luminosidad, $H\alpha_{BC}$ puede variar pero $H\beta_{BC}$ no (cuando es visible) lo cual sugiere que el gas que emite ambas líneas no esta virializado. Para dar soporte a esta afirmación se tiene que hacer la estimación de los

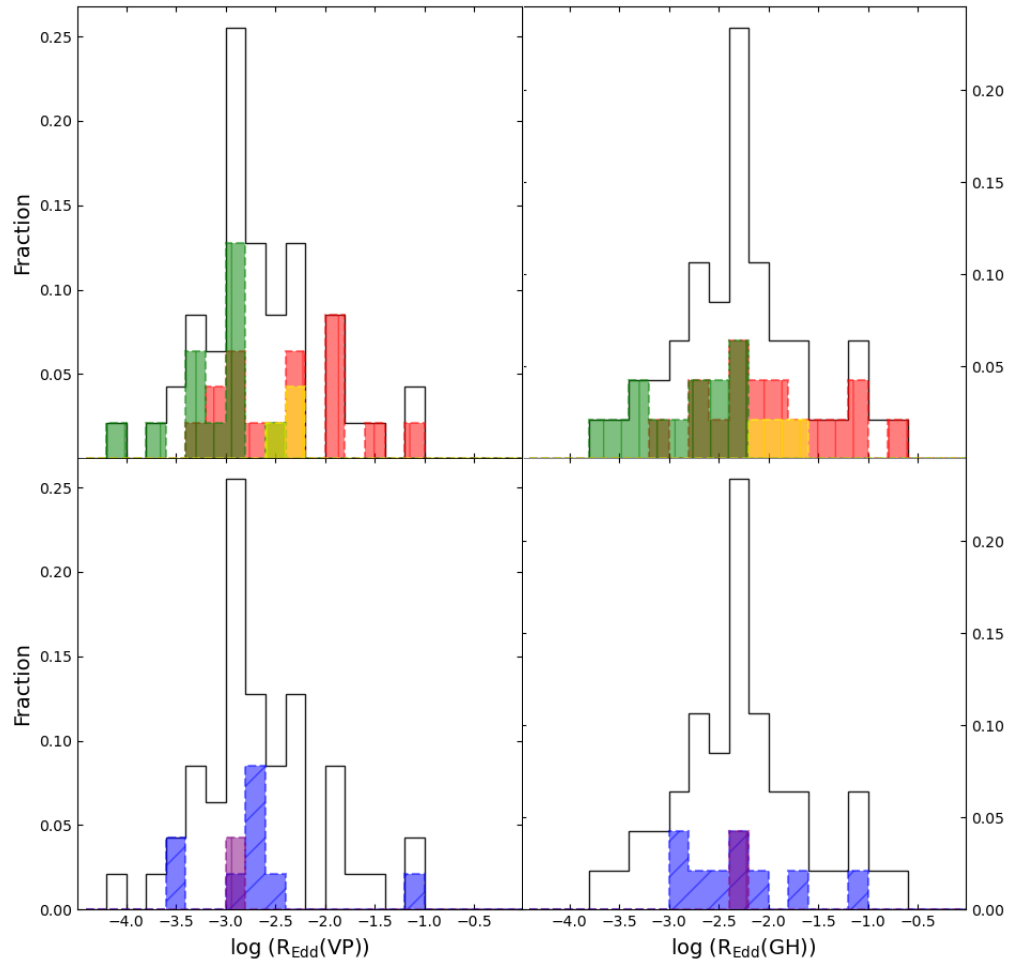


Figura 4.19: Igual que en la figura 4.18 pero separando los AGNs en *Variable en todo el espectro* (rojo), *Variable solo en $H\alpha$* (verde), *Variable solo en $H\beta$* (amarillo), *Sin variabilidad* (azul) y *Objeto encendido* (púrpura).

cocientes de Eddington con lo espectros de SDSS para compararlos con los obtenidos con MaNGA y ver como varían. Esto se dejará como trabajo a futuro.

En el siguiente capítulo se explorarán las propiedades de las galaxias anfitrionas de un núcleo activo de tipo 1.

5 Análisis de la Galaxia Anfitriona: Propiedades fotométricas

En esta sección se describirán algunas propiedades de las galaxias anfitrionas que se pueden derivar de fotometría y de los cubos de datos de MaNGA. Algunas ya fueron exploradas en el artículo *SDSS-IV MaNGA: The Incidence of Major Mergers in type I and II AGN Host Galaxies in the DR15 sample* (Hernández-Toledo, Cortes-Suarez et al. 2023 de ahora en adelante HT23) el cual ya fue aceptado para su publicación en la revista *Monthly Notices of Royal Astronomical Society* y del cual soy el segundo autor.

En este artículo se explora la naturaleza del encendido de un núcleo activo; si es debido a procesos de fusión entre galaxias (mergers), o bien, debido a efectos seculares promovidos por una barra estelar en la galaxia huésped. Para ello, se utilizaron los 283 AGNs encontrados en la muestra del DR15 de MaNGA (incluyendo los 47 AGNs tipo 1) así como una serie de muestras control extraídas de la misma muestra DR15 y con las mismas propiedades (tipo morfológico, masa estelar y color) pero sin núcleo activo. Los resultados encontrados indican que la incidencia de *mergers mayores* es significativamente mayor en la muestra combinada de AGNs (tipo 1 + tipo 2) que en la muestra control. Entre los mergers mayores identificados en las muestras de AGNs, el 51% se encuentran asociados a las etapas finales del proceso de fusión (post-coalescence), indicando que el encendido del núcleo activo está asociado con las etapas finales del proceso de fusión. Este resultado indica que los mergers mayores juegan un papel importante en el encendido de los AGN. Utilizando la luminosidad en $[\text{OIII}]\lambda 5007$ como un indicador de la actividad nuclear, se encontró que dentro de las muestras de AGNs tipo 1 y 2, las galaxias que hospedan una barra estelar también pueden alcanzar niveles de luminosidad comparables a los de las galaxias identificadas como mergers mayores, sugiriendo que los mergers mayores no son el mecanismo más importante pero tampoco el único posible detrás del encendido del AGN.

A partir de una descomposición estructural bulbo/disco/barra/fuente-puntual 2D a las imágenes del SDSS en banda r de las galaxias huésped de los AGN tipo 1 y 2, en este trabajo se estimó una corrección a las propiedades físicas fotométricas (magnitudes absolutas, masas estelares) que toma en cuenta la contaminación del flujo proveniente de la fuente puntual nuclear (AGN). Se encontró que existe una correlación empírica entre la cantidad de flujo contaminante proveniente de la fuente puntual y la clasificación del espectro óptico según el diagrama $I_H - I_{H\beta}$. Prácticamente todos los espectros clasificados como intermedio y galaxia-dominante muestran una cantidad de flujo contaminante que no supera el 20% del flujo total de la galaxia huésped en la banda r . Solo

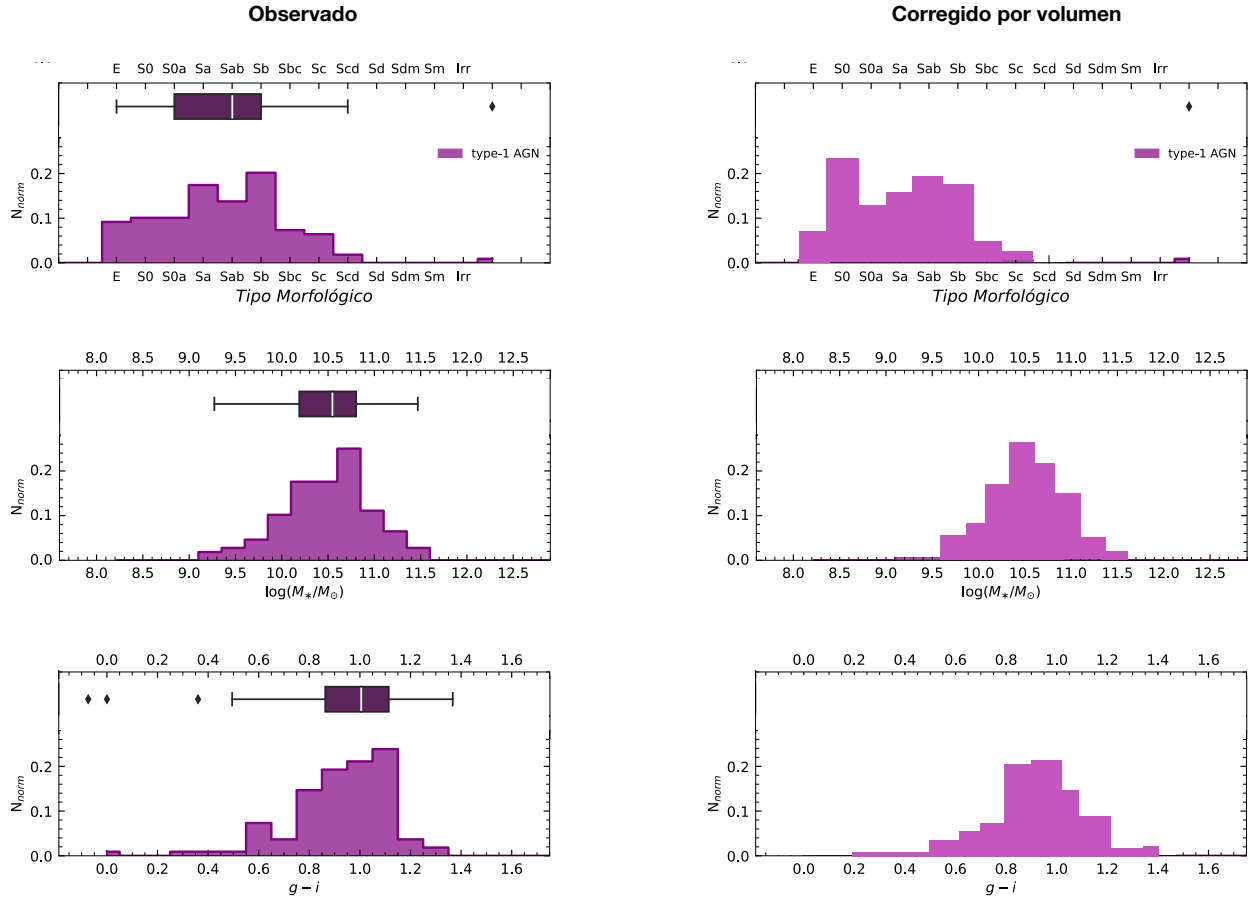


Figura 5.1: Distribuciones del tipo morfológico (paneles superiores), masa estelar (paneles centrales) y distribución de color ($g - i$) (paneles inferiores) para los AGNs tipo 1 (barras sólidas de color púrpura). Los subpaneles izquierdos corresponden a las cantidades observadas y los subpaneles derechos a las cantidades corregidas por volumen.

aquellas galaxias cuyo espectro óptico es clasificado como del tipo AGN-dominante, muestran un porcentaje de contaminación $> 20\%$ pero variable. Esta clasificación empírica puede ser útil como una corrección de primer orden para estimar cantidades fotométricas en galaxias que hospedan AGN en los catálogos masivos de AGNs.

5.1. Parámetros morfológicos

La contribución que realicé dentro del segundo artículo fue la obtención de las muestras de AGNs tipo 1 y tipo 2 así como la clasificación de los AGNs tipo 2 por familias (AGN-Dominante, Intermedio y Galaxia Dominante) encontrando que, el 94% de toda la muestra es de esta tercer familia siendo objetos menos luminosos que los AGNs tipo 1. Con esta información, se exploró

la naturaleza del encendido de los 283 AGNs (47 tipo 1 + 236 tipo 2) utilizando como referencia una muestra control de no-AGNs, empatada en propiedades como tipo morfológico, color ($g - i$) y masa estelar. En la figura 2 de dicho artículo muestro las distribuciones de estas propiedades tanto para la muestra de AGNs como para la muestra control, incluso separando la primera en AGNs tipo 1 y tipo 2. Así mismo, incluí diagramas de caja y bigotes para observar el comportamiento de las 3 distribuciones y así mostrar de manera visual sus diferencias o semejanzas. También realicé una corrección del color ($g - i$) debido a que, al tratarse de AGNs, la contribución en flujo del núcleo puede ser bastante considerable (ver Apéndice A de HT23). Las conclusiones obtenidas de esta figura son que los AGNs (tipo 1 + tipo 2) tienden a estar en *galaxias de tipo temprano, de colores más rojos y con las de mayor masa estelar*. No obstante, no se está considerando que la muestra de MaNGA no es representativa de las galaxias del Universo observable dado que el catastro tiene un sesgo por masa estelar (Blanton et al., 2017). Para tener distribuciones representativas, se tuvo que hacer una corrección por volumen cuyas nuevas distribuciones son mostradas en la misma figura con la leyenda "VC"(volume corrected). El resultado obtenido con esta corrección es el mismo que el anterior pero haciendo más evidente las diferencias entre las galaxias con núcleo activo y las que no lo tienen.

Debido a que la población de AGNs tipo 1 era muy pequeña, especialmente cuando se compara con el tamaño de la muestra control, el resultado obtenido considera tanto a los tipo 1 como a los tipo 2. Dado que en el capítulo 3 se encontraron 103 AGNs Tipo 1, se procedió a recrear la figura 2 de HT23 pero solo para esta población. En la figura 5.1 se muestran las distribuciones en tipo morfológico (paneles superiores), masa estelar (paneles de enmedio) y color ($g-i$) (paneles inferiores); tanto para la muestra observada (paneles izquierdos) como para la corregida por volumen (paneles derechos). En las distribuciones observadas, se tiene su respectivo diagrama de caja y bigotes para visualizar su comportamiento. Para las distribuciones corregidas por volumen se siguió el procedimiento de HT23. Los parámetros utilizados para estimar el color $g - i$ fueron obtenidos del catálogo del NASA-Sloan Atlas. Las magnitudes g e i fueron corregidas por el factor $M - 5 \log_{10}(h)$ dado que nuestro sistema de referencia cosmológico considera una constante de Hubble $h = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. También se corrigieron por extinción galáctica y factor evolutivo (Dragomir et al., 2018). Debido a que el AGN puede llegar a ser más luminoso que su galaxia anfitriona, se tuvo que hacer la corrección debido a la presencia de éste. En el apéndice A de HT23 se explica la sustracción de la componente del AGN apartir del modelado bidimensional realizado con Galfit (Peng et al., 2002; Peng et al., 2010) así como en la sección 4.1.2 de esta tesis. En su figura A2, se muestra que la contribución nuclear en el fujo total de la galaxia puede ser cercano o de hasta un 60%. En la misma figura se muestra que la contribución del AGN varía dependiendo de la familia: en promedio, en los AGN dominantes el núcleo activo tiene una contribución del 20% en el fujo total, en los AGN intermedio un 8% y en los dominados por la galaxia un 6%. Utilizando estos valores promedio, se llevó a cabo la corrección correspondiente para las galaxias restantes cuyo espectro

Parámetro	Q1	Q2	Q3	RIQ
Morfológico	S0a	Sab	Sb	S0a-Sb
Masa Estelar	10.19	10.55	10.81	0.62
$g - i$	0.86	1.01	1.11	0.25

Cuadro 5.1: Valores de los cuartiles para cada una de las distribuciones observadas.

óptico fue clasificado como intermedio y galaxia-dominante obteniendo así, los colores corregidos ($g - i$). Las masas estelares se derivaron de la relación de Taylor et al., 2011:

$$\log(M_*/M_\odot) = 1,15 + 0,70(g - i) + 0,40M_i \quad (5.1)$$

para lo cual utilizamos los colores corregidos previamente. Finalmente, el tipo morfológico se obtuvo del catálogo de Vázquez-Mata et al., 2022.

Comparando los valores reportados en la tabla 5.1 para la muestra de 103 AGNs tipo 1 con los de la tabla 3 de HT23, notamos que en la distribución de tipo morfológico hay diferencias ya que se encontraron más AGNs en galaxias de tipo tardío. La mediana de ésta muestra pasó a ser de tipo *Sab* a diferencia de la muestra anterior que era de tipo *Sa*. No obstante el aumento de galaxias de tipo tardío no implicó un cambio en las distribuciones de color y masa estelar. Haciendo las mismas comparaciones de los valores en los cuartiles, vemos que en la masa estelar hubo un incremento de 0.04-0.05 dex teniendo una muestra un poco más masiva pero dentro del intervalo de errores reportado en el artículo. En cuanto al rango intercuantil (RIQ), disminuyó 0.02 dex haciéndola una muestra más compacta. Para el caso de la distribución de color, los valores permanecen similares excepto por la mediana que aumentó 0.03 dex, pero cuyo incremento se encuentra dentro del intervalo de errores reportado.

Visualizando las mismas distribuciones pero corregidas por volumen (paneles derechos de la figura 5.1), notamos el mismo comportamiento que con la muestra de la figura 2 de HT23: las distribuciones se mueven hacia tipos morfológicos más tempranos, las masas estelares hacia galaxias menos masivas y con colores menos rojizos pero aún dentro de los intervalos que se pueden considerar diferentes a las distribuciones de las galaxias que no tienen un núcleo activo e incluso a las de los AGNs tipo 2. El resultado es similar al de HT23: *los AGNs tipo 1 se encuentran en galaxias de tipo temprano, de colores más rojos y con de mayor masa estelar*. Después de una primer análisis de las propiedades físicas y fotométricas se exploró la naturaleza del encendido del núcleo activo el cual se describe en las siguientes secciones.

5.2. Encendido del AGN

Recordando la definición de un núcleo activo, ésta es la manifestación observada de la acreción de gas y polvo a un agujero negro supermasivo localizado en el centro de una galaxia. El cómo llega el material a la región nuclear sigue siendo tema de debate pero en este trabajo se exploraron algunos de los mecanismos más probables: caída directa de gas por una fusión de galaxias, interacción con galaxias vecinas y a través de un mecanismo secular interno como el de una barra galáctica.

5.3. Fusión de galaxias: Parámetro LD1

Uno de los mecanismos para llevar gas a las regiones internas de una galaxia es a través de la interacción gravitacional entre galaxias que también contempla las etapas más avanzadas y que, de manera genérica, denominaremos aquí como la fusión de galaxias. Las fusiones se pueden clasificar como menores o mayores, según la relación de masas entre las galaxias interactuantes; de 1:5 a 1:10 en el primer caso y en el segundo con una relación de masas 1:2 o 1:3. De acuerdo a Bickley et al., 2021, la morfología de la galaxia fusionada puede estar perturbada hasta por 2.5×10^9 años, teniendo un pico de mayor perturbación notable hasta los 0.5×10^9 años después de la colisión. Con estas escalas de tiempo, las huellas dejadas por los procesos de fusión pueden ser observadas o no dependiendo de la época en que este proceso se consumó. Las huellas más características de estos procesos son las mareas o colas de gas y estrellas que pueden extenderse más allá de las galaxias fusionadas. A partir de estas características, Nevin et al., 2019 propuso un método para identificar fusiones mayores y menores que utiliza como predictores primarios 7 parámetros que se pueden estimar a partir de la distribución de brillo en las imágenes de galaxias como las del SDSS. Estos indicadores son: Gini, M_{20} , Concentración, Asimetría, Índice de Sérsic, Grumosidad y la Asimetría extendida (shape asymmetry).

En una primera etapa, Nevin et al., 2019 llevó a cabo una serie de simulaciones hidrodinámicas de encuentros entre galaxias contemplando un intervalo amplio de variación de los principales parámetros que intervienen en estos encuentros, como los cocientes de masa, fracciones de gas, ángulos de visión, entre otros. Enseguida se generaron un conjunto de imágenes simuladas que rescataban las distintas etapas de estos encuentros y que fueron utilizadas para intentar reconocer las principales huellas dejadas en las imágenes y cuyo origen se conocía en detalle a partir de las simulaciones. Para ganar generalidad en la aplicabilidad de este procedimiento, las imágenes simuladas fueron estandarizadas agregándoles las principales características de las imágenes observadas en catálogos como el SDSS, como el ruido característico, la profundidad, la respuesta espectral de los filtros fotométricos u, g, r, i, z y las características de la PSF, entre otros. Finalmente estas imágenes simuladas y estandarizadas con las características de las imágenes del SDSS fueron analizadas con una serie de predictores fotométricos estimados sobre las imágenes mismas con los cuales, se

procedió a optimizar y encontrar la mejor combinación posible de parámetros que reprodujeran los resultados de las simulaciones.

El Análisis Lineal Discriminatorio (LDA por sus siglas en inglés) se utiliza para optimizar la información que estos parámetros aportan para identificar mergers en distintos estados (ver, por ejemplo, Lotz et al., 2004; Lotz et al., 2008) y se procede a generar el predictor con la mayor probabilidad de identificar un merger mayor o menor que es sensible a la fracción de masa, gas, distintos parámetros de la interacción y etapas de fusión.

Los valores obtenidos con el LDA son el Parámetro Lineal Discriminante (LD1), la probabilidad de fusión (p_{merg}) y la Función de Distribución Acumulativa (CDF), siendo el primero utilizado para clasificar el estado de una fusión galáctica.

De acuerdo a Nevin et al., 2019, LD1 es conocido como el primer eje discriminante utilizado para separar galaxias que están en un estado de fusión de las que no lo están. Es una combinación lineal de los siete predictores de imagen y sus términos de interacción, con pesos y términos de intercepción. Cada elemento de peso es diferente para cada predictor y sus valores absolutos relativos representan su grado de importancia para la clasificación. Las galaxias con $LD1 > 1.16$ y $p_{merg} > 0.76$ serán consideradas como fusiones mayores y se trabajarán con ellas. En la figura 5.2 se muestra la distribución del parámetro LD1 para la muestra control (línea azul), los 103 AGNs Tipo 1 (línea cian), los 236 AGNs tipo 2 (línea púrpura) y la combinación de ambos tipos (línea roja). El panel de en medio de la misma figura muestra la distribución acumulativa de las 4 muestras y el panel inferior la misma distribución pero solo para los AGNs tipo 1 y AGNs tipo 2. De esta figura podemos visualizar que la fracción relativa de fusiones mayores son del $\sim 34\%$ para los AGNs tipo 1, $\sim 22\%$ para los AGNs tipo 2 y del $\sim 19\%$ para los que no tienen núcleo activo. Aunque estos valores representan solo una fracción de las muestras completas, es importante notar que las muestras con núcleo activo tienen fracciones más altas, incluso la de los tipo 1 es de $1/3$ de la muestra completa. Este resultado sugiere que, la fusión galáctica es un mecanismo que puede promover la actividad nuclear observada en los AGNs. Sin embargo no es el único mecanismo que puede hacerlo y para saber si es el dominante, se exploraron también otros mecanismos como la presencia de galaxias vecinas y la presencia de una barra galáctica.

5.4. Galaxias vecinas

Si bien, la fusión entre galaxias es una de las formas más directas de llevar material al centro de la galaxia, entre galaxias vecinas también puede haber transferencia de gas, efecto visto en cúmulos de galaxias. Algunos estudios sugieren que el ambiente a gran escala y la interacción entre galaxias puede influir de manera indirecta en la presencia de un núcleo activo. Para tratar este tema, se exploró al parámetro de fuerza de marea Q , el cual se define como una estimación de la fuerza de interacción gravitacional total que producen galaxias vecinas en una galaxia central con respecto

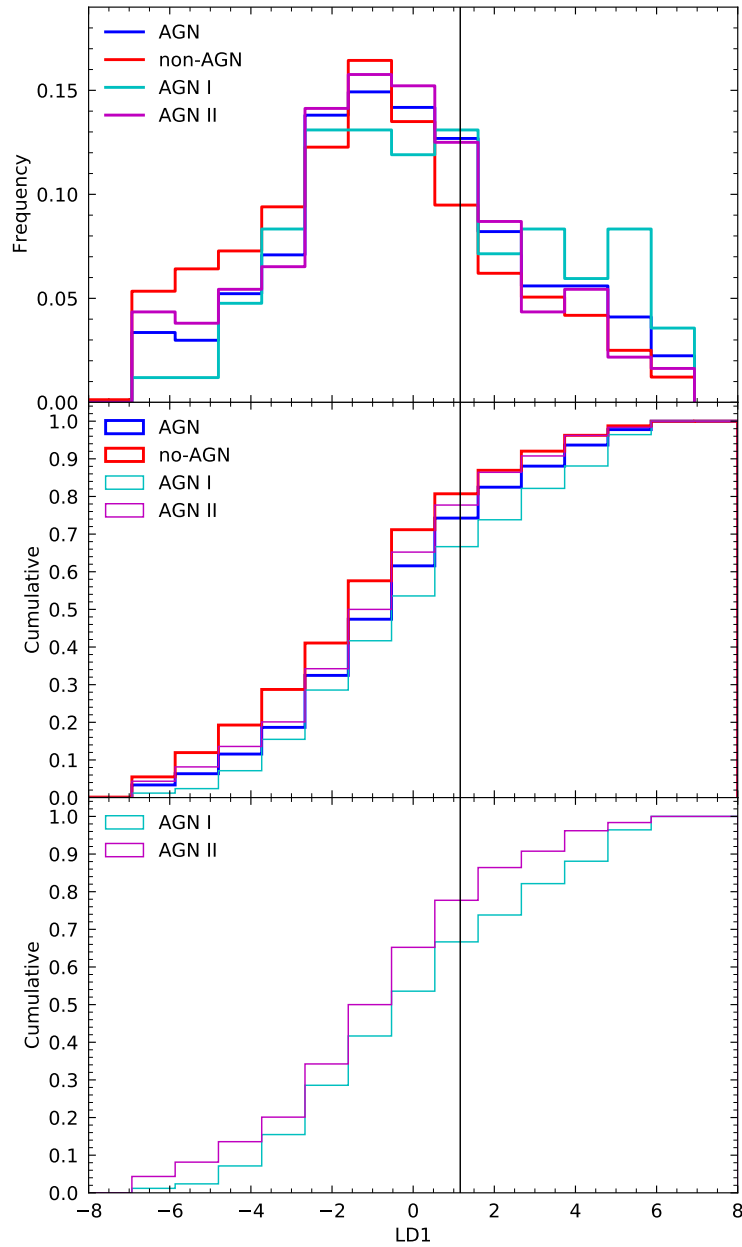


Figura 5.2: Panel superior: Distribuciones del parámetro LD1 para la muestra control (línea roja), de AGNs tipo 1 (línea cyan), AGNs tipo 2 (línea púrpura) y la suma de ambos tipos (línea azul). Panel de enmedio: Las mismas distribuciones pero acumulativas. Panel inferior: Misma distribución acumulativa pero mostrando únicamente a los AGNs tipo 1 y tipo 2.

a sus fuerzas de enlace internas. Se consideraron esas estimaciones en dos escalas: Q_{nn} definido como la fuerza de marea que hay con el primer vecino más cercano y Q_{lss} definido como la fuerza de marea de la estructura a gran escala (LSS, Large Scale Structure por sus siglas en inglés). Éste último es una caracterización más global producida por el entorno de la LSS, es decir, la fuerza de marea producida por todos los vecinos dentro de una diferencia de velocidad de línea de visión de 500 km s^{-1} , con distancias de separación proyectadas de hasta 5 Mpc en una muestra de volumen limitado hasta $z < 0.15$. Cabe aclarar que el entorno sondeado con estos parámetros no considera la influencia de regiones mucho más densas, donde se podrían encontrar diferencias.

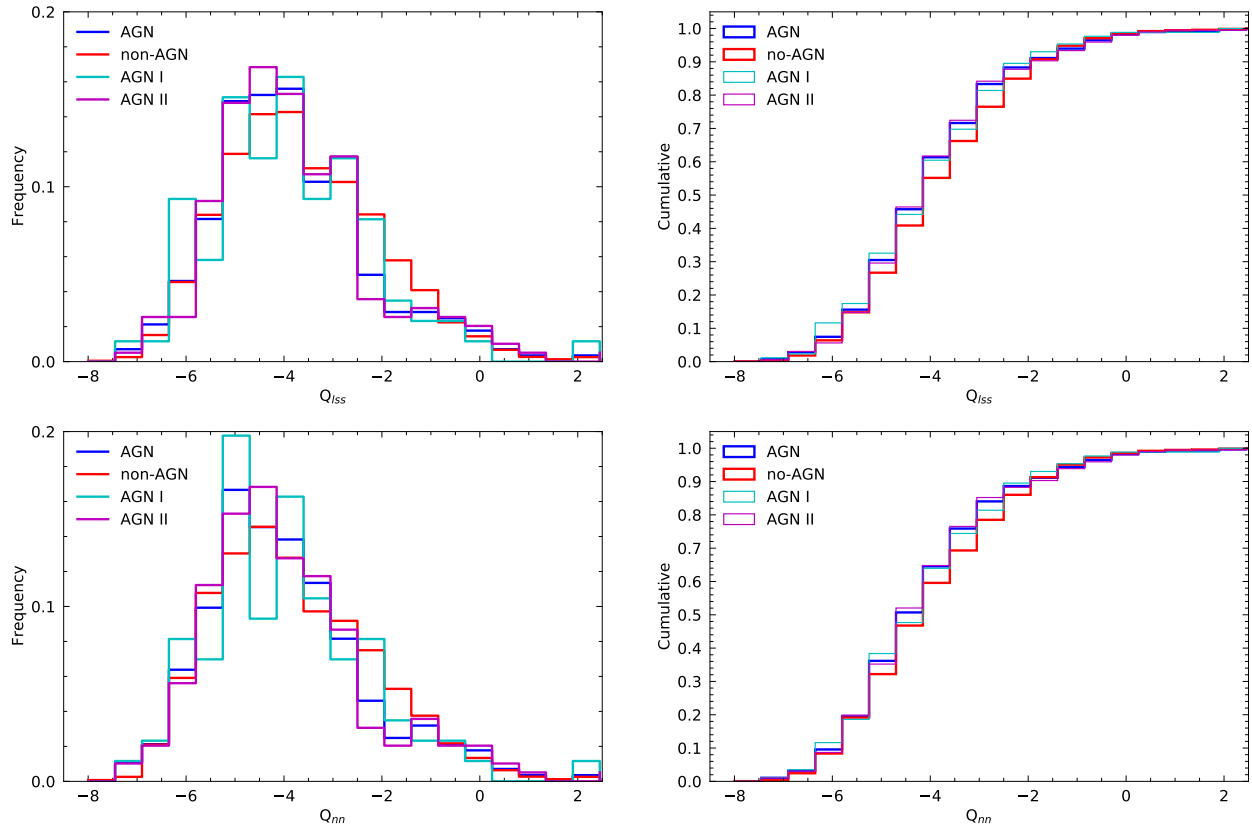


Figura 5.3: Distribuciones de los parámetros Q_{lss} y Q_{nn} para las 4 muestras estudiadas. De lado izquierdo se tienen las distribuciones en forma de histograma y de lado derecho, las distribuciones acumulativas.

En la figura 5.3 se muestran las distribuciones de estos dos parámetros, los paneles superiores para el parámetro Q_{lss} y los paneles inferiores para el parámetro Q_{nn} . De lado izquierdo se muestran las distribuciones de frecuencia y de lado derecho, en la misma figura, se muestran las distribuciones acumulativas. Al igual que en la figura 5.2 se muestran la muestra control (línea azul), los 103 AGNs Tipo 1 (línea cian), los 236 AGNs tipo 2 (línea púrpura) y la combinación de ambos tipos (línea roja).

Para entender estas distribuciones, se adoptaron valores representativos de Q_{ISS} . Para clasificar a una galaxia con un entorno aislado, ésta debe tener un valor $Q_{\text{ISS}} < -5.5$; para pares o tripletes de galaxias aisladas deben cumplir $-5.5 < Q_{\text{ISS}} < -5.0$ y, para una galaxia dentro de un grupo de galaxias, ésta debe tener $Q_{\text{ISS}} > -5.0$. Conforme más cercano a -5.0 se dice que la galaxia esta dentro de un grupo pobre pero si la galaxia tiene un valor más alto, la galaxia se encontrará dentro de un grupo más rico (Argudo-Fernández et al., 2015). Por grupo pobre, nos referimos a un conjunto de 3 a 15 galaxias; por grupo rico a uno compuesto por 15 o hasta 50 galaxias y como cúmulo a un conjunto de más de 50 galaxias (Yang et al., 2007).

De la figura 5.3 podemos ver que un $\sim 27\%$ de las galaxias sin núcleo activo tienen un valor de Q_{ISS} menor a -5.0 , $\sim 30\%$ y $\sim 32\%$ para los AGNs tipo 2 y tipo 1 respectivamente indicando que esa es la población de galaxias aisladas. El mismo comportamiento es visible en la distribución de Q_{nn} salvo por un ligero incremento de las poblaciones aisladas pero esto es esperado dado que Q_{nn} está considerando únicamente al vecino más cercano. De estos análisis notamos que no hay diferencias significativas entre las muestras de AGNs y la muestra control por lo que el ambiente no esta influyendo de manera significativa en el encendido de los núcleos activos.

5.5. Incidencia de Barras

Otro posible mecanismo es la presencia de barras, la cual es capaz de mover material de las regiones más externas de una galaxia hacia el centro. Sin embargo, no todas las galaxias con barra tienen un núcleo activo por lo que debe haber otro mecanismo que lleve el material del centro hacia el agujero negro supermasivo. Para visualizar la incidencia de barras en la muestra de AGNs tipo 1, utilizamos la clasificación morfológica del catálogo de Vázquez-Mata et al., 2022. De ésta se encontró que el 55% (57) de la muestra tiene barra, porcentaje que puede incrementar si se hace un estudio en el cercano infrarrojo ya que el catálogo se realizó con imágenes en el óptico (Knapen et al., 2000; Menéndez-Delmestre et al., 2007). De éstas, 15.8% (9) son AGN dominante, 31.6% (18) intermedio y 52.6% (30) galaxia dominante, mostrando una mayor presencia en los AGNs menos luminosos. Para ver si la barra influye en la actividad nuclear, observamos la luminosidad de [OIII] tanto para las galaxias con barra como las galaxias que no la tienen. Se podría utilizar de igual forma la luminosidad de la componente ancha de $H\alpha$ pero en Cortes-Suárez et al., 2022 se demostró que ambas son buenos indicadores de la actividad nuclear. En la figura 5.4 podemos ver la distribución de la luminosidad de [OIII] (datos de la tabla 4.2) así como el del cociente de esta luminosidad con la masa del agujero negro, estimados en el capítulo 4. La masa utilizada es la estimada con la fórmula de VP06.

Ambos histogramas incluyen un diagrama de caja y bigotes para visualizar mejor el comportamiento de las distribuciones (azul para la muestra con barra y rojo para la muestra sin ella). Éste análisis solo se hizo con la muestra de 47 AGNs dado que es la única con la que contamos con

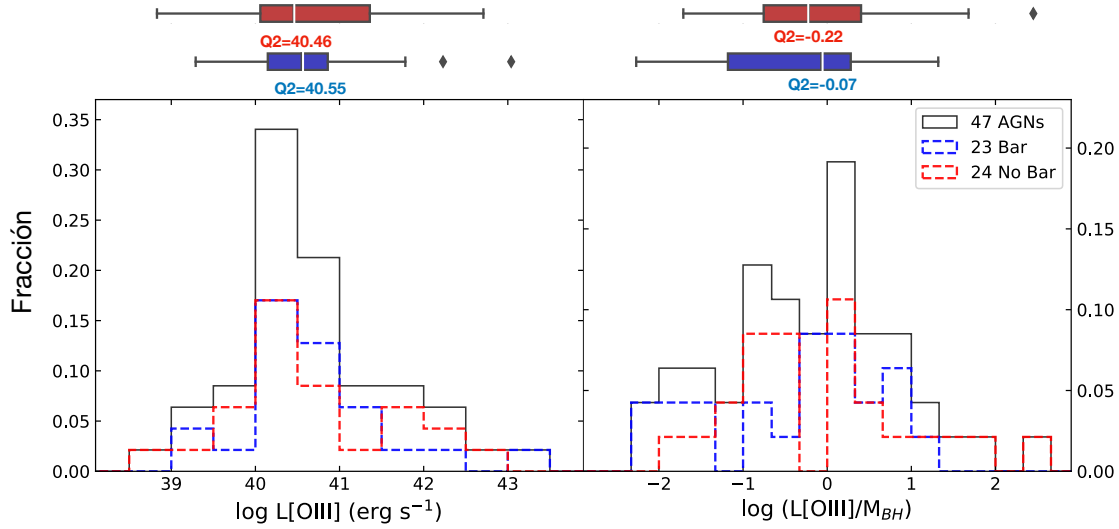


Figura 5.4: Panel izquierdo: Distribuciones de la luminosidad de [OIII] para las galaxias con barra (azul) y las galaxias sin barra (rojo) de la muestra de 47 AGNs tipo 1. Panel derecho: Igual que el panel izquierdo pero mostrando las distribuciones del cociente luminosidad de [OIII] y la masa del agujero negro supermasivo, como indicador de la actividad nuclear.

estos datos por lo que es un resultado preliminar. Podemos notar que no hay diferencias notables en ambas distribuciones. Las medianas (Q2 en los diagramas de caja y bigotes) que obtuvimos de $\log L[\text{OIII}]$ son de 40.46 y 40.55 para la muestra sin barra y con barra respectivamente, valores no tan diferentes. Sin embargo podemos ver que la muestra con barra tiene el valor más alto y la otra tiene el valor más bajo. En el caso del cociente $\log L[\text{OIII}]/M_{BH}$, igual notamos medianas muy similares, -0.22 para la muestra sin barra y -0.07 para la barrada. Aunque esta última tiene un valor mayor, la distribución en general tiene valores menores a la muestra sin barra. Para cuantificar estos resultados, realizamos un unpaired two sample t-test cuya hipótesis nula es comprobar si las medianas de dos distribuciones son iguales. Para el caso de las luminosidades en [OIII], el p -value obtenido es de 0.984 y, en el caso del cociente, se obtuvo un p -value de 0.306. Ambos valores, al ser altos, sugieren que la hipótesis es cierta y que las medianas entre las galaxias que tienen y no tienen barra no son diferentes. No obstante, como en HT23 se encontraron valores mayores de $L[\text{OIII}]$ en los AGNs que tienen barra y en esta tesis también, aunque esta diferencia no sea tan significativa, el resultado encontrado sugiere que la barra también actúa como un mecanismo que influye en la actividad nuclear observada. Este resultado preliminar se estudiará más a fondo cuando se tenga el análisis de los 103 AGNs.

De todas las pruebas mostradas en este capítulo se concluyó que los AGNs tienen dos mecanismos que pueden inducir su actividad, uno externo que son las fusiones entre galaxias y uno interno que son las barras galácticas. Por lo tanto, no se tiene un mecanismo dominante, de hecho ambos juegan un papel importante en el encendido del núcleo, incluso llegándose a presentar ambos

fenómenos en una misma galaxia.

Como trabajo a futuro, se analizarán el resto de los AGNs tipo 1 para ver como cambia este resultado.

5.6. Mapas de velocidad y de líneas de emisión

Diferentes grupos dentro de la colaboración MaNGA han desarrollado herramientas para analizar los cubos de datos. Dentro del grupo de la UNAM, se encuentra el trabajo de Sánchez et al., 2016a donde se desarrolló Pipe3D, un pipeline que analiza datos de espectroscopía de campo integral. Pipe3D utiliza FIT3D, una paquetería que sirve para ajustar espectros en el óptico y hacer una separación entre las poblaciones estelares y el gas ionizado y, de esta forma, extraer información física de cada componente. Otro grupo de MaNGA que se encarga de hacer un trabajo similar es Marvin (Cherinka et al., 2019), la cual es una herramienta que permite visualizar y analizar los cubos de datos de MaNGA. A través de una interfaz web ¹, cualquiera puede acceder a los diferentes data products que se pueden obtener de cada galaxia de MaNGA. En el capítulo 2 se hace mención de que algunos de los data products que se pueden obtener con Pipe3D o con Marvin son los mapas de velocidades y mapas de líneas de emisión. Dadas las propiedades de MaNGA, éstos mapas pueden utilizarse como indicadores cinemáticos y de líneas de emisión del campo de visión observado, que dependiendo del objeto, puede abarcar a toda la galaxia o solo a la región central. Los mapas de velocidad suelen describir bien la cinemática de las galaxias de acuerdo su morfología, rotacional en el caso de discos y de dispersión en el caso de elípticas. No obstante, existen excepciones y la cinemática puede verse perturbada por procesos seculares como brazos espirales, barra y/o anillos y también por mecanismos externos como la interacción y/o fusión entre galaxias. Otro mecanismo que puede afectar la cinemática puede ser un núcleo activo, tanto por su intensidad como el mecanismo que lo alimenta. Así mismo, el núcleo activo puede liberar gas ionizado (en forma de vientos) al medio o a la misma galaxia que puede modificar la distribución del gas ionizado. Para ver si el AGN puede afectar a su galaxia anfitriona tanto cinemáticamente como en su gas ionizado, se hizo una inspección visual de diferentes mapas para la muestra de 47 AGNs tipo 1 con miras a terminarlo para las 103. Estos mapas se descargaron del sitio web de Marvin y son: mapas de velocidad del gas y de las estrellas, mapa de la emisión de $H\alpha$ en ancho equivalente y el mapa del índice espectral $D_n(4000)$. Los mapas de velocidad se obtienen de separar el cubo ajustando las poblaciones estelares y las líneas de emisión con perfiles gaussianos y después estimando la dispersión de velocidades de ambos cubos. Para el caso del mapa del gas, se utilizó la línea de $H\alpha$.

En la tabla 5.2 se muestran una serie de indicadores que fueron utilizados para inferir algunas de las posibles huellas fotométricas y cinemáticas de los procesos de interacción y fusión en las muestras estudiadas de AGNs. Se analizaron visualmente los mapas cinemáticos del gas y las estrellas

¹<https://dr16.sdss.org/marvin/>

Plate-IFU	Indicadores Cinemáticos				Indicadores de H α			
	Disc Rot. (Gas)	Disc Rot. (Stars)	Gas & Estrellas Acoplada	Galaxia Acoplada	H α Nuclear	Anillo Nuclear	Ancho Equivalente de H α >6Å	Pob. Joven Nuclear
8144-3702	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
9193-12704	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
9500-1901	Si	Si	Si	No	No	No	No	Si
8553-1901	No	No	No	No	No	No	No	Si
7991-1901	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si
9048-1902	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si
9487-3702	Si	Si	No	No	Si	No	Si	No
7815-6104	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
7968-3701	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
7977-9101	Si	Si	Si?	No	Si	Si	Si	Si
8132-6101	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8326-6102	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8341-12704	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8553-9102	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8615-3701	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
8713-9102	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
8718-12701	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
9182-6102	No	Si	No	No	Si	No	Si	Si
9193-9101	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
9487-9102	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
9497-12705	No	No	No	No	Si	No	Si	Si
8446-1901	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si
8466-3704	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8714-3704	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8978-6104	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No
9000-1901	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si
9181-12702	No	Si	No	No	Si	No	No	No
8549-12702	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8606-12701	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
8725-9102	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si
8940-12702	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8983-3704	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
9036-6101	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
9194-6101	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
9196-12703	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No
8990-12705	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No
8603-6101	No	No	No	Si	Si	No	Si	Si
9194-6103	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	Si
9881-1902	Si	Si	No	No	Si	No	Si	No
8158-3704	Si	No	No	No	Si	No	No	Si
8241-9102	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si
8320-6101	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
8547-12701	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
8992-3702	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No

Cuadro 5.2: Indicadores cinemáticos y de H α utilizados para clasificar el grado de perturbación de las galaxias anfitrionas, posiblemente debida a la presencia de un AGN. Estos indicadores son cualitativos y se obtuvieron de observar los mapas 2D resueltos de Marvin.

para inferir la presencia de rotación a gran escala o de subestructura cinemática evidente en estos campos de velocidades. Se compararon las orientaciones del eje mayor cinemático (PA, cinemático) en ambos mapas para encontrar evidencia de posible desacoplamiento cinemático entre ambas componentes, definida como $\Delta PA > 20^\circ$. En la figura 5.5 se muestran los mapas de velocidad de las galaxias MaNGA-8547-12701, MaNGA-9182-3703, MaNGA-9048-1902 y MaNGA-8553-1901.

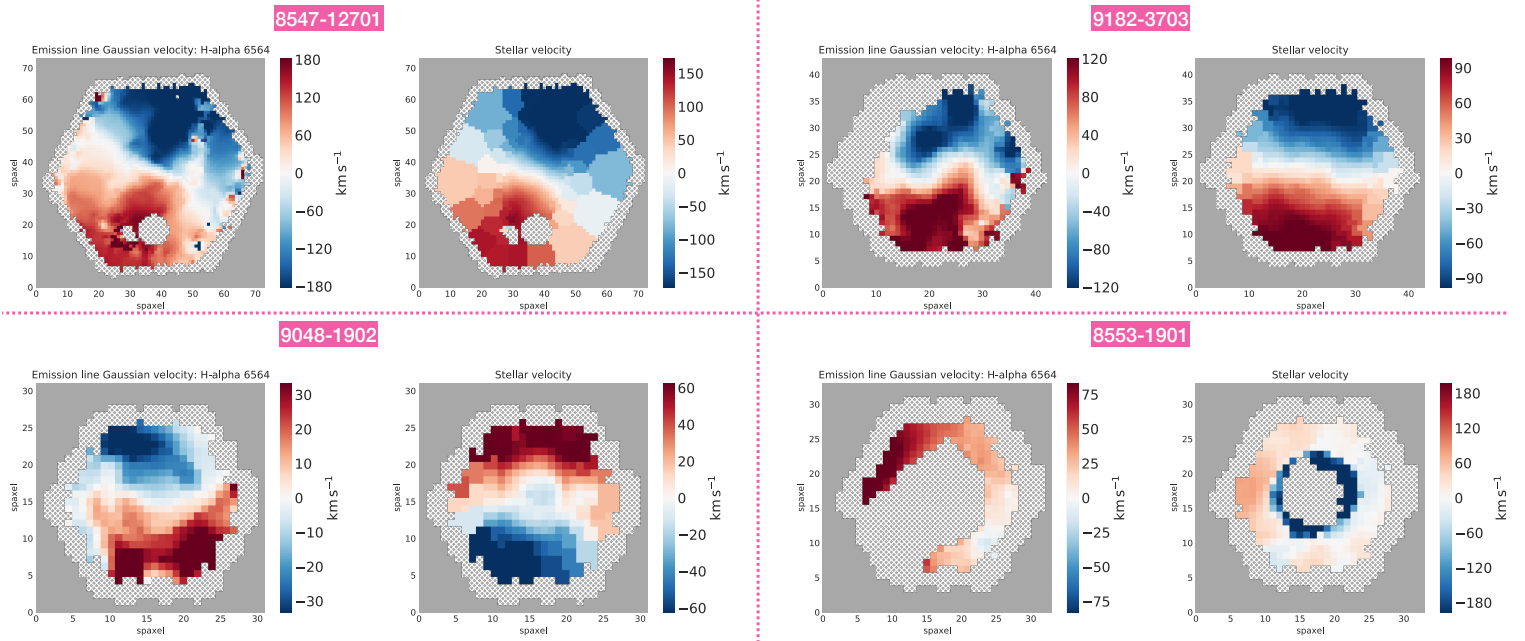


Figura 5.5: Mapas de velocidad de 4 galaxias con AGN tipo 1. Por cada galaxia se muestran dos mapas, de lado izquierdo se encuentra el mapa de velocidad de H α y de lado derecho el mapa de velocidad de las estrellas.

Por cada galaxia se muestra el mapa de velocidad del gas (izquierda) y el mapa de velocidad estelar (derecha). Estas galaxias muestran la amplia variedad de propiedades cinemáticas encontradas en estos 47 AGNs. La galaxia MaNGA-8547-12701 muestra un caso donde los mapas de velocidad estelar y del gas están acoplados. De estos casos encontramos que el 64% (30) de la muestra tiene esta cinemática, la cual es la más general. La galaxia MaNGA-9182-3703 muestra un caso donde ambas componentes parecen estar acopladas salvo en la región central donde se puede apreciar una perturbación local en el mapa de gas. Los casos donde no hay un acoplamiento cinemático entre el centro y el resto de la galaxia corresponden al 87% (41), aportando evidencia en favor de posible(s) evento(s) que perturbaron la cinemática nuclear. Un caso extremo de desacople cinemático es MaNGA-9048-1902, donde ambos mapas tienen cinemáticas rotacionales que difieren completamente. La fracción de casos donde no hay un acoplamiento entre los mapas estelar y de gas es de 30% (14). El origen de estos desacoplamientos puede deberse a procesos relacionados con la interacción entre galaxias y fusiones mayores y menores. Por último se tiene el caso de MaNGA-8553-1901, donde la emisión nuclear es tan intensa que opaca a su galaxia anfitriona y no

se puede estudiar correctamente aunque podemos ver que la cinemática estelar en el centro difiere completamente del resto de la galaxia.

Por otro lado, a partir de las simulaciones de encuentros entre galaxias se sabe que las torcas generadas permiten llevar grandes cantidades de gas a las regiones centrales de las galaxias involucradas generando regiones circumnucleares con tasas elevadas de formación estelar y que adicionalmente, una fracción del gas puede llegar por diferentes procesos a las regiones más centrales y alimentar el AGN.

En línea con esos resultados, hemos llevado a cabo una inspección visual entre los data products de Marvin, buscando evidencia de emisión intensa de la línea $H\alpha$ en las regiones centrales de las galaxias huésped de los AGN y también hemos inspeccionado los mapas 2D de parámetros como $D_n(4000)$ (Balogh et al., 1999) que nos permiten visualizar la distribución de edades relativas de las poblaciones estelares en las regiones centrales de estas galaxias.

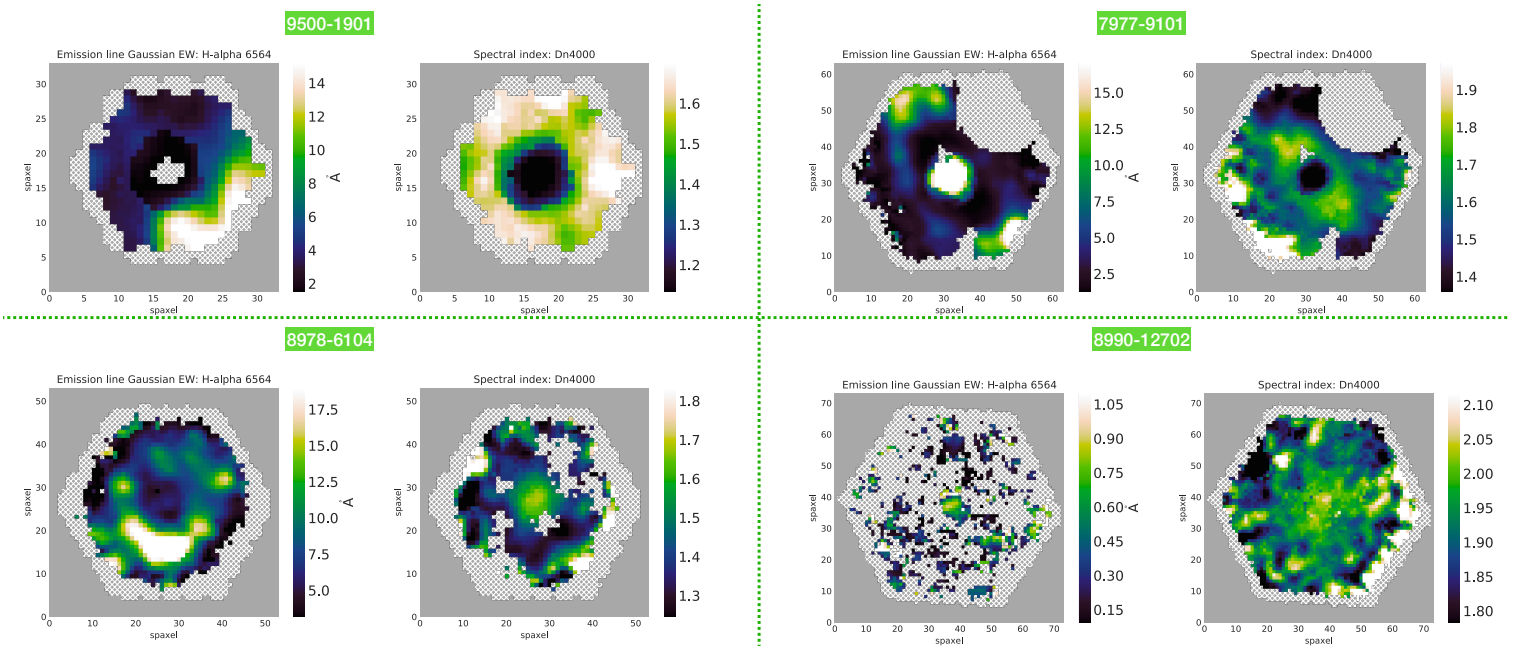


Figura 5.6: Mapas de líneas de emisión de 4 galaxias con AGN tipo 1. Por cada galaxia se muestran dos mapas, de lado izquierdo se encuentra el mapa del ancho equivalente de $H\alpha$ y de lado derecho el mapa del índice $D_n(4000)$.

Sin embargo, aún es necesario llevar a cabo un análisis conjunto de estos resultados. En la figura 5.6 se muestran los mapas de ancho equivalente de $H\alpha$ y del índice $D_n(4000)$ para las galaxias MaNGA-9500-1901, MaNGA-7977-9101, MaNGA-8978-6104 y MaNGA-8990-12702 que ejemplifican la diversa variedad de emisión encontrada en nuestra muestra de 47 AGNs tipo 1. Utilizamos el criterio de Cano-Díaz et al., 2016 para determinar que la emisión nuclear es debida al AGN y/o formación estelar si el ancho equivalente de $H\alpha$ es mayor a 6\AA . La galaxia MaNGA-9500-1901 es un caso donde la región nuclear tiene baja emisión de $H\alpha$ pero la población más

joven se concentra en esta región. Caso contrario ocurre en la galaxia MaNGA-7977-9101 donde, además de un anillo, la emisión se concentra en la región nuclear así como la población más joven de la galaxia. En la galaxia MaNGA-8978-6104 podemos observar un caso donde no hay emisión nuclear considerable de $H\alpha$ y esto se observa con una población más vieja en esta región. Finalmente, MaNGA-8990-12702 es un caso donde no hay mucho gas en la galaxia y la población es vieja en todas las regiones. Los últimos dos casos representan el comportamiento general de las galaxias, en donde, no se esperan observar brotes de formación estelar o regiones con poblaciones jóvenes cuando hay baja o nula presencia de gas ionizado. Pero, si llegan a tener regiones de intensa emisión de $H\alpha$, se espera que se deba a un brote de formación estelar y por lo tanto, haya una mayor presencia de poblaciones estelares jóvenes. Sin embargo, los dos primeros casos, muestran estados atípicos que bien pudieron ser causados por la actividad nuclear.

En el siguiente capítulo se discutirán los resultados mostrados tanto de la región de líneas anchas como de la galaxia anfitriona para estudiar las correlaciones entre las propiedades de ambas regiones.

5.7. Segundo Artículo: SDSS-IV MaNGA: The Incidence of Major Mergers in type I and II AGN Host Galaxies in the DR15 sample.

SDSS-IV MaNGA: The Incidence of Major Mergers in type I and II AGN Host Galaxies in the DR15 sample.

Hernández-Toledo H.M.^{1*}, Cortes-Suárez E.¹, Vázquez-Mata J. A.², Nevin R.³, Ávila-Reese V.¹, Ibarra-Medel H.^{4,5}, Negrete C. A.⁶

¹Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-264, 04510 CDMX, Mexico

²Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, CDMX, 04510, México

³Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL 60510, USA

⁴Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional, U.P. Adolfo López Mateos, C.P. 07738, Ciudad de México, México

⁵Instituto de Astronomía y Ciencias Planetarias, Universidad de Atacama, Copayapu 485, Copiapó, Chile

⁶CONACyT Research Fellow – Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-264, 04510 CDMX, Mexico

Accepted XXX. Received YYY; in original form ZZZ

ABSTRACT

We present a study on the incidence of major mergers and their impact on the triggering of nuclear activity in 47 type I and 236 type II optically-selected AGN from the MaNGA DR15 sample. From an estimate of non-parametric image predictors (*Gini*, M_{20} , concentration (C), asymmetry (A), clumpiness (S), Sérsic index (n), and shape asymmetry (A_S)) using the SDSS images, in combination with a Linear Discriminant Analysis Method, we identified major mergers and merger stages. We reinforced our results by looking for bright tidal features in our post-processed SDSS and DESI legacy images. We find a statistically significant higher incidence of major mergers of $29\% \pm 3\%$ in our type I+II AGN sample compared to $22\% \pm 0.8\%$ for a non-AGN sample matched in redshift, stellar mass, color and morphological type, finding also a prevalence of post-coalescence ($51\% \pm 5\%$) over pre-coalescence ($23\% \pm 6\%$) merger stages. The levels of AGN activity among our massive major mergers are similar to those reported in other works using [OIII] tracers. However, similar levels are produced by our AGN-galaxies hosting stellar bars, suggesting that major mergers are important promoters of nuclear activity but are not the main nor the only mechanism behind the AGN triggering. The tidal strength parameter Q was considered at various scales looking for environmental differences that could affect our results on the merger incidence, finding non-significant differences. Finally, the H- $H\beta$ diagram could be used as an empirical predictor for the flux coming from an AGN source, useful to correct photometric quantities in large AGN samples emerging from surveys.

Key words: galaxies: nuclei – quasars: emission lines – galaxies: interactions – galaxies: photometry

1 INTRODUCTION

Dynamical interactions and mergers, which promote gas infall, are among the main mechanisms suggested to drive the growth of supermassive black holes (SMBHs) in the nuclear regions of galaxies (e.g., Di Matteo et al. 2005; Springel et al. 2005). Tidal torques from major mergers can drive gas accretion for fueling both star formation (Mihos & Hernquist 1994, 1996) and SMBH growth (Di Matteo et al. 2005; Hopkins et al. 2005; Ellison et al. 2011; Koss et al. 2012; Treister et al. 2012; Satyapal et al. 2014). Minor mergers are also thought among the most important mechanism for SMBH growth, simultaneously inducing morphological perturbations and stimulating star formation (e.g., Noeske et al. 2007; Daddi et al. 2007; Cisternas et al. 2011; Kocevski et al. 2012; Kaviraj 2014; Villforth et al. 2017). The tight correlations between SMBH mass and galaxy properties suggest co-evolution between them, with mergers possibly being the com-

mon cause of both SMBH accretion (with the consequent trigger of the AGN) and bulge mass buildup (Hopkins et al. 2007). Under these scenarios and depending on the initial conditions, galaxies hosting active galactic nuclei (AGN) could show to some degree those signatures of dynamical and morphological perturbations. However, other studies suggest that mergers do not necessarily play a dominant role in triggering AGN activity (Grogin et al. 2015; Gabor & Davé 2009; Cisternas et al. 2011; Kocevski et al. 2012; Schawinski et al. 2012; Treister et al. 2012; Simmons et al. 2013; Rosario et al. 2015).

Alternatively, secular instabilities are another mechanism for driving gas accretion into SMBH in disk galaxies. These secular processes can be driven by bars or, in high redshift turbulent disks, by tidal friction of clumps, both also contributing to bulge growth (e.g., Bournaud 2016, and references therein).

In the present work, we are particularly interested in identifying merger signatures in a carefully selected optical sample of type I and II AGN host galaxies from the Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory (MaNGA; Bundy et al. 2015; Yan et al. 2016b)

* E-mail: hector@astro.unam.mx

DR15 survey (Aguado et al. 2019). This approach is different from searching for the fraction of AGN hosts in samples of pair and/or post-merger galaxies. As discussed in Ellison et al. (2019), the latter focus on exploring whether or not mergers can trigger AGN, while our study will focus on the question of whether mergers are the dominant trigger of AGN or not. However, our goal is fraught with difficulties associated to the recognition of mergers and the different merger stages; from early pre-coalescence to late post-mergers, to which different observational strategies and techniques are sensitive. To capture a wide range of merger stages, those studies based on structural features and morphological distortions need of accurate schemes to associate observational signatures to those different stages. Here, we adopt an accurate scheme recently proposed by Nevin et al. (2019, 2023). They used hydrodynamics simulations that cover a range of merger initial conditions coupled with dust radiative transfer codes to obtain highly realistic photometric properties. In that approach, they build mock observations of the simulated galaxies that allow them to create a classification of images, determining their accuracy and precision for identifying galaxy mergers of different mass ratios and interaction stages.

In the recent years, Integral Field Spectroscopy (IFS) applied to large surveys has significantly improved the way of studying the galaxy properties and their connection to the hosted AGN (e.g., Ibarra-Medel et al. 2016; Cano-Díaz et al. 2016; Sánchez et al. 2018; Cano-Díaz et al. 2019; González Delgado et al. 2017; Sánchez 2020; Aquino-Ortíz et al. 2020; Ibarra-Medel et al. 2022). In particular, for studies related to mergers and their connection to AGN, Jin et al. (2021) have exploited the IFS advantages by studying the role of AGN during galaxy interactions and how they influence the star formation by using a sample of 1156 galaxies in pairs or mergers from the MaNGA survey. Similarly, Steffen et al. (2023) have compiled a sample of 391 spectroscopically confirmed galaxy pairs from the MaNGA survey to study the volume density of AGN and of dual AGN in galaxy pairs as a function of various projected separations.

We have taken advantage of (i) the spectral coverage of the MaNGA survey for a careful identification of our AGN samples (Cortes-Suárez et al. 2022) and of (ii) the spatial information contained in the SDSS r -band images of the host galaxies to estimate a series of optical morphological predictors (Gini, M_{20} , concentration, asymmetry, clumpiness, Sérsic index, and shape asymmetry) that later are combined and interpreted via numerical simulations using Linear Discriminant Analysis (LDA) as described in Nevin et al. (2019). We explore for: (i) the incidence (fraction) of major mergers in our samples of type I and II AGN galaxies; (ii) differences in this incidence between the combined type I and II AGN sample (hereafter type I+II) and a control non-AGN sample matched in stellar mass, morphology, color and redshift; and (iii) the level of AGN activity as a function of stellar mass for hosts with and without evidence of major mergers.

We also complement our analysis by carrying out a visual identification of tidal features in the type I and II AGN samples using our post-processing to the corresponding images from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS, York et al. 2000; Stoughton et al. 2002) and Dark Energy Spectroscopy Instrument Legacy Imaging (DESI) images, Dey et al. (2019), up to r -band surface brightness limits of 25 and 26.7 mag arcsec⁻², respectively (Vázquez-Mata et al. 2022). Finally, we test various local and Large-Scale (LSS) environment indicators looking for possible differences in our samples that could affect our results on the incidence of major mergers.

This paper is organized as follows. We describe the MaNGA data, our AGN selection and their morphological and global physical properties in Section §§ 2. Section §§ 3 describes the analysis and meth-

ods to infer the presence of mergers, merger stages and tidal features. The results obtained are presented in Section §§ 4 with emphasis on the morphological content of the identified mergers, a statistical evaluation of the significance of the incidence of major mergers, the implications for the observed levels of nuclear activity, the alternative role of bars, and an evaluation of the impact that the local and LSS environment could have on our results. Section §§ 5 puts into perspective our results, comparing with previous works and arguing about a dominant mechanism of AGN triggering in our samples. Finally, Section §§ 6 summarizes our main conclusions. We assume a standard Lambda-cold dark matter (Λ CDM) cosmology ($\Omega_M = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$ and $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$). All magnitudes are in the AB system.

2 THE MANGA SURVEY: AGN GALAXIES AND THEIR OPTICAL GLOBAL PROPERTIES

The MaNGA survey (SDSS-IV, Blanton et al. 2017) has recently finished their Integral Field Spectroscopic observations of galaxies in the local universe ($z < 0.15$) with a wavelength coverage from 3,600 to 10,400 Å at a resolution ($\lambda/\delta\lambda$) of roughly 2000. The final DR17 (Abdurro'uf et al. 2022) includes the Data Reduction Pipeline (DRP; Law et al. 2016, 2021; Yan et al. 2016a) data products of 10,296 data cubes for MaNGA galaxies, with 10,145 of them having good data quality and no warning flags, yielding 10,010 unique targets (identified via their MANGAID) with a small number of repeated observations taken for cross-calibration purposes. The MaNGA data analysis pipeline (MaNGA DAP) is the package that analyzes the data produced by the MaNGA survey, however see also the implementation of the Pipe3D pipeline and of their data products (Sánchez et al. 2016, 2018, 2022).

The final DR17 also reports the results of programs dedicated to AGN studies, such as the SPectroscopic IDentification of ERosita Sources (SPIDERS) survey designed to provide an homogeneous optical spectroscopic follow-up of X-ray sources detected by eROSITA. A series of papers summarizing the results of the AGN programs are referred in Abdurro'uf et al. (2022). Various other AGN catalogs were also compiled and analyzed throughout the entire MaNGA survey (e.g., Rembold et al. 2017; Sánchez et al. 2018; Wylezalek et al. 2018, 2020; Comerford et al. 2022). Comerford et al. (2020) presented the identifications of 406 AGNs out of 6261 galaxies observed at that stage in the MaNGA DR15 sample, collecting a series of multi-wavelength emission properties, dividing the AGNs into radio-quiet and radio-mode AGNs, and examining their galaxy star formation rates and stellar populations properties. More recently, Comerford et al. (2022) explored in more detail the available IFS data for a pilot sample of MaNGA galaxies looking for possible off-nuclear Seyfert regions, finding significant evidence of off-nuclear AGN signatures in their sample and showing that a more careful review of the whole DR17 MaNGA data could reveal a more complete census of AGNs missed by single fiber spectra.

2.1 Type I and II AGN galaxies in MaNGA: the data

In Cortes-Suárez et al. (2022, hereafter Paper I) we have carried out the accurate identification of 47 type I AGN in the MaNGA DR15 survey (DR15; Aguado et al. 2019), containing at that stage 4636 galaxies. The selection method is based on the identification of the $H\alpha$ broad component ($H\alpha_{BC}$) by using a variant of the flux ratio method (e.g., Oh et al. 2015). The higher signal-to-noise (S/N) ratio achieved in the integrated central (3 arcsec) spectra from the MaNGA

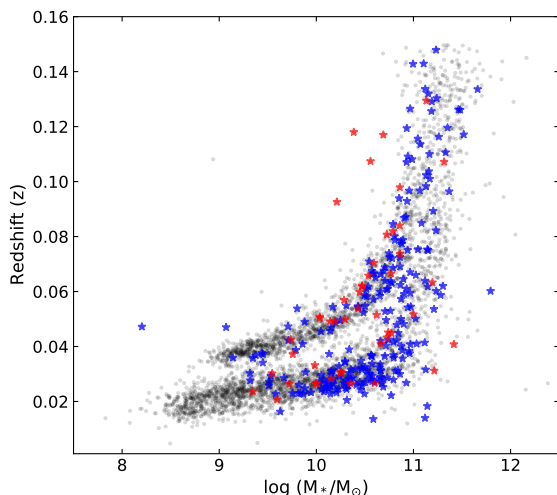


Figure 1. Distributions of type-I AGN (red stars), type-II AGN (blue stars) and non-AGN DR15 galaxies (gray dots) on the redshift vs stellar Mass diagram. Type I and II AGN populate almost equally ($\sim 50\%$) the two branches, corresponding to the MaNGA Primary+ and Secondary samples along the whole redshift interval.

data, avoided the need of a host galaxy subtraction. The method was further tested by using data from SDSS DR7, showing comparable results to other methods that identify type I AGN in the DR7 catalogs (e.g., Stern & Laor 2012; Oh et al. 2015; Liu et al. 2019). The $H\alpha_{BC}$ luminosity of their sample lies within the range $10^{38} < L_{H\alpha} < 10^{44}$ erg s^{-1} , with line widths $\log \text{FWHM}(H\alpha_{BC}) \sim 3-4$, covering a range of Eddington ratio (λ_{Edd} , the ratio of the bolometric to Eddington luminosities) from -5.15 to 0.70 in logarithmic scale, with a few galaxies showing evidence of extended jet-like emission in radio wavelengths. We refer the reader to Paper I for a more detailed description and multiwavelength properties of the type I AGN sample.

Cortes-Suárez et al. (2022) also looked for type II AGN in the MaNGA DR15 sample using the results from the Pipe3D data analysis software (Sánchez et al. 2016) adopting the criteria described in Sánchez et al. (2018). They considered only galaxies located above the Kewley’s lines (Kewley et al. 2001, 2006) in three independent BPT diagrams including the lines [OIII], [NII] and [SII], and imposing the additional restriction on the $H\alpha$ equivalent width, $EW(H\alpha) > 1.5 \text{ \AA}$. While Sánchez et al. (2018) identified 98 type I and type II AGN candidates (in the MPL-5 containing ~ 2700 galaxies), Cortes-Suárez et al. (2022) obtained a final sample of 283 AGN: 47 type I and 236 type II (in the MPL-7 containing 4636 galaxies), which will be considered as the main sample for the present study.

Figure 1 shows the distribution of the 47 type I AGN (red symbols), the 236 type II AGN (blue symbols) and of a comparison sample of non-AGN MaNGA DR15 galaxies described below (gray symbols) on the redshift-stellar mass, $z-M_*$, diagram. Stellar masses have been estimated by using a color ($g-i$) dependent mass-to-light ratio in the i -band following Taylor et al. (2011) and corrected from the contaminant AGN component as described in Appendix A. Two separate sequences can be appreciated, corresponding to the MaNGA Primary+ and Secondary samples. Both type I and II AGN are well distributed between these two branches along the full redshift interval of the MaNGA survey.

MaNGA-ID	$g-i$	z	M_*	Host Galaxy	Tidal Features	LD1
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1-113712	1.005	0.081	10.725	SABab	No	8.736
1-180204	0.927	0.052	10.621	SBbc	No	-6.715
1-113405	1.070	0.042	9.773	Sa	No	-4.379
1-596598	1.109	0.027	10.352	SABa	No	-
1-24092	0.607	0.093	10.211	S0	Yes	5.808
1-24148	1.113	0.028	10.129	Sb	No	-4.565
1-548024	1.154	0.129	11.133	SBb	No	2.752
1-43214	0.831	0.118	10.792	S0a	No	5.115
1-121075	0.936	0.098	10.860	E_{dc}	Yes	-0.271
1-52660	1.287	0.057	10.287	S0a	Yes	6.562
1-460812	1.195	0.067	10.770	Sa	No	0.478
1-523004	0.953	0.027	10.004	SBab	No	-2.308
1-235576	0.964	0.070	10.593	SABa	No	0.509
1-620993	0.856	0.030	10.254	SBbc	No	-4.647
1-418023	0.937	0.024	9.348	S0	No	-7.842
1-256832	1.257	0.107	11.316	S0a	Yes	2.114
1-593159	1.100	0.045	10.773	SBa	No	-0.161
1-210017	1.116	0.043	10.730	SBb	Yes	3.441
1-90242	0.360	0.030	9.546	E	No	-7.916
1-90231	0.911	0.074	10.860	Sc	No	-
1-594493	1.174	0.031	11.215	E_{dc}	Yes	-2.451
1-95585	1.125	0.063	11.198	SBc	No	2.371
1-550901	0.962	0.062	10.505	SBa	No	4.276
1-71974	0.495	0.033	9.985	SBc	No	6.417
1-604860	1.108	0.052	11.002	E	No	-1.504
1-44303	0.929	0.050	10.294	SBb	Yes	-
1-574519	1.030	0.049	10.143	Sa	Yes	-3.849
1-163966	0.775	0.027	10.603	SBa	No	-0.809
1-94604	0.977	0.049	10.190	S0	No	-3.938
1-423024	1.077	0.062	10.488	SBab	No	-6.251
1-174631	0.985	0.037	9.758	Sa	No	-1.853
1-149561	0.853	0.026	9.723	SBa	No	-5.503
1-614567	0.939	0.021	9.599	S0	Yes	1.922
1-210186	0.977	0.060	10.447	SBa	No	-9.175
1-295542	0.694	0.050	10.036	E_{dc}	Yes	-2.430
1-71872	1.130	0.041	11.416	E_{dc}	Yes	-3.672
1-71987	0.838	0.040	10.539	Sa	Yes	1.784
1-37863	0.863	0.107	10.558	S0a	Yes	3.128
1-37385	1.087	0.045	10.740	SBab	No	2.297
1-37336	1.123	0.084	10.859	Sab	Yes	-3.856
1-37633	1.223	0.031	10.255	S0	No	-1.610
1-24660	0.946	0.082	10.794	SBb	No	-5.629
1-574506	1.114	0.054	10.430	SB0a	No	-3.351
1-574504	0.814	0.041	10.663	SBab	No	2.798
1-298111	0.561	0.117	10.690	SBb	Yes	-
1-385623	0.632	0.051	10.035	S0a	No	-5.875
1-523211	1.088	0.027	9.993	S0	No	-1.551

Table 1. Main properties of 47 galaxies with type I active nuclei according to our selection criteria (Cortes-Suárez et al. 2022). Column (2) shows the g -band and i -band magnitudes from the NSA Sloan Atlas, corrected for the contaminant flux of a nuclear source after our Galfit 2D analysis (see Appendix A). Column (3) the redshift obtained from NSA. Column (4) stellar masses from NSA catalog derived from Sersic fluxes. Column (5) the morphological Host Galaxy classification from Vázquez-Mata et al. (2022) VAC. Column (6) tidal features detected in our image post-processing (see §§ 3.2). Column (7) the Linear Discriminant Parameters to classify the galaxy as a major merger (see §§ 3.1).

MaNGA-ID	$g-i$	z	M_*	Host Galaxy	Tidal Features	LD1
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
12-84677	1.164	0.075	10.941	SAB0a	Yes	-2.919
1-113651	1.169	0.071	10.546	SABab	No	-7.643
1-547210	1.634	0.117	11.519	Sa	No	0.978
1-547402	1.276	0.039	9.790	Sb	No	-24.579
1-177493	1.276	0.108	10.989	SB0	Yes	-1.149
1-177528	1.051	0.030	10.052	SAB0	No	-6.959
1-180629	1.161	0.104	11.160	SBbc	No	-7.832
1-180537	1.333	0.120	11.352	SBbc	No	-
1-25554	1.032	0.027	10.282	SBa	No	-4.221
1-595093	1.314	0.030	10.556	SABbc	No	-
...

Table 2. Similar to table 1 Main properties of type II AGN selected according to our selection criteria. The complete data will be available in the online version.

Tables 1 and 2 present some global optical properties for the type I and type II AGN samples, respectively. Column (1) shows the MaNGA ID, column (2) the $(g-i)$ color K - and extinction-corrected from NSA, column (3) the redshift coming from NSA, column (4) the stellar mass after adopting corrections from the contaminant central source fluxes (see in Appendix A), column (5) the host galaxy morphological type from the MaNGA Visual Morphologies VAC DR17¹, column (6) a binary (Yes/No) identification of tidal features on the SDSS images (see §§ 3.2), and column (7) the resulting LD1 parameter value after applying the Linear Discriminant Analysis (LDA) to our image predictors following Nevin et al. (2019) (see §§ 3.1).

Along the present paper various control samples were compiled and used for different purposes. A first control sample contains the full MaNGA DR15 sample, except for all identified type I and II AGN, useful to compare (i) the global physical properties of our AGN (§§ 2.2), and (ii) to test for possible effects of the local and Large-Scale environment in §§ 4. A second control sample was compiled by randomly selecting non-AGN galaxies per bin in stellar mass, color and redshift to match as much as possible the distributions of our type (I+II) AGN sample, to compare the frequency of bars. A third control sample, similarly matched in stellar mass and redshift, was compiled to compare the incidence of tidal features. Finally a control sample compiled by matching the morphological type, stellar mass, color, and redshift distributions of the AGN sample to test the significance of the frequency of major mergers identified with the LDA method in §§ 4.4. All the physical properties of our control samples were estimated and corrected in a similar way as those in the AGN samples.

2.2 Morphological Type, Stellar Mass and Color

MaNGA galaxies were selected such that a roughly flat distribution in $\log M_i$ was imposed, independent of morphology and color (Wake et al. 2017). This selection criterion does not guarantee a representative volume-complete sample either in M_* , color or morphology. Therefore, for some global quantities shown in the present work, we

¹ https://www.sdss.org/dr18/data_access/value-added-catalogs/?vac_id=80

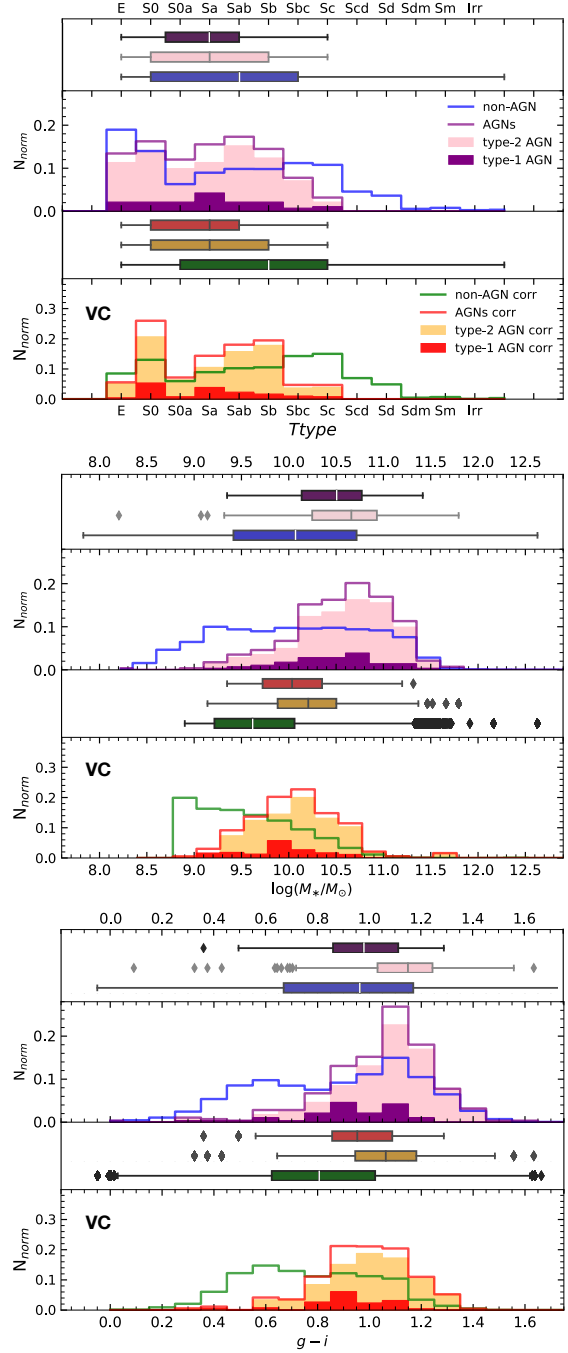


Figure 2. Morphological type (upper panels), stellar mass (middle panels) and $(g-i)$ color distributions (lower panels) for non-AGN (blue and green solid lines), combined type I+II AGN (purple and red solid lines), the individual Type I (purple and red solid bars) and II AGN (pink and yellow solid bars). The upper sub-panel in each block corresponds to the observed quantities while the lower sub-panels stand for volume-corrected quantities (VC). On top of each panel a boxplot diagram shows the minimum, first quartile (Q1), median, third quartile (Q3), maximum and outliers of each distribution for non-AGN and type I and II AGN samples.

adopt volume completeness correction factors $f_m = f_m(M_*, g-r, z)$, that are applied to each galaxy in our AGN and control samples in order to recover representative quantities in the local volume. The details and methodology behind these corrections will be presented in Calette et al. (in prep). (see also Rodríguez-Puebla et al. 2020; Vázquez-Mata et al. 2022).

The morphological VC distributions of type I and II AGN are composed of S0-Sc galaxies, with a dominance of S0-Sb types. In both AGN samples we find only a small fraction of elliptical galaxies (11% and 12%, in type I and II, respectively) and no host galaxies with morphological types later than Sc. The overall distribution of our type (I+II) AGN sample shows a median $Ttype = 1$ corresponding to Sa types, compared to a median $Ttype = 2$ corresponding to Sab types for non-AGN hosts. This is consistent with results in other low-redshift AGN samples showing that they are preferentially hosted by early-type disk galaxies (Ho et al. 1997; Kauffmann et al. 2003; Bruce et al. 2016; Sánchez et al. 2018; Kim et al. 2017, 2021).

Before volume-completeness corrections, the stellar mass distribution of the non-AGN sample is nearly flat, reflecting the M_i selection criterion applied in the MaNGA survey and the peculiar selection of galaxies in the Color-Enhanced sample. Notice that the corresponding volume-corrected (VC) distributions are (i) trustworthy for galaxies with $\log(M_*/M_\odot) > 8.8$, and that (ii) these corrections change the mass and color distributions of the non-AGN sample and also (but to a lesser degree) those from the AGN samples to follow the local Stellar Mass Function (SMF) and slightly increasing the fraction of bluer galaxies, which typically are of lower masses (see Table 3).

Type (I+II) AGNs are hosted in galaxies with median VC stellar masses $\log(M_*/M_\odot) = 10.04$ and 10.21 respectively, compared to $\log(M_*/M_\odot) = 9.62$ for non-AGN. The $(g-i)$ color, an approximate tracer of the recent ($\lesssim 1$ Gyr) mean SFR history shows median VC $(g-i) = 0.95$ and 1.06 for type I and type II AGNs, respectively, while that of non-AGN hosts is $(g-i) = 0.81$. These differences, more noticeable in the volume-corrected distributions, show that galaxies hosting type (I+II) AGN tend to be more massive and redder than those in the non-AGN control sample, although with large overlaps in the distributions. A Kolmogorov-Smirnov test shows that the mass and color distributions of type (I+II) AGN and non-AGN galaxies are different at the significance level $p = 5 \times 10^{-16}$, while a T-test shows that the mean color and stellar mass in the AGN sample are greater than those in the control sample with a similarly high significance level. In Sect. 5 we discuss some implications of these differences.

3 IDENTIFICATION OF MAJOR MERGERS, MERGER STAGES AND TIDAL FEATURES

3.1 Major mergers identification

Several works in the literature have proposed methods to identify signatures of mergers in galaxies. Among them we mention those using non-parametric image predictors such as the $Gini - M_{20}$ or the CAS (Concentration-Asymmetry-Clumpiness) (Lotz et al. 2004; Conselice 2003). Although very useful, their prediction ability is limited by different merger initial conditions, such as mass ratio, gas fraction, merger stage and the merger observability timescale (e.g., Lotz et al. 2008, 2011). Recently, Nevin et al. (2019) proposed a merger identification scheme that simultaneously uses several image predictors like $Gini$, M_{20} , Concentration (C), Asymmetry (A), Clumpiness (S), Sérsic index (n), and Shape Asymmetry (A_S) exploiting their individual prediction ability and combining them to generate a more robust classification using Linear Discriminant Analysis (LDA). They trained separate minor merger (mass ratio of the

galaxies 1:5 and 1:10) and major merger (mass ratio of the galaxies 1:2 and 1:3) classifiers using a suite of mock images from detailed hydrodynamic simulations of merging galaxies, including AGN. By combining the coefficient values of the different predictors, they are able to accurately identify merging galaxies over a range of mass ratios, gas fractions, viewing angles, and merger stages. In the present work, the LDA method of Nevin et al. (2019) will be used to identify only major mergers.

The simulated images in Nevin et al. (2019) were SDSS-ized introducing the SDSS noise and background characteristics and convolving to the seeing limit of the SDSS survey to gain more direct applicability of their merger classification scheme to the complete SDSS image survey. Thus, for consistency the image predictors for our AGN and non-AGN control samples were estimated from the r -band SDSS images using a software from Nevin et al. (2023) that includes the Python package *statmorph* (Rodríguez-Gomez et al. 2019), with various modifications, to prepare the images (background-subtraction, masking and segmentation) prior to compute the source properties following the procedures described in Abraham et al. (2003); Conselice et al. (2000); Conselice (2003); Lotz et al. (2004, 2008); Pawlik et al. (2016); Sérsic (1963).

Nevin et al. (2019) optimized the applicability of the LDA method in terms of the SDSS image properties, finding it more appropriate for images with a minimum S/N ratio ~ 2.5 per pixel on the r -band, corresponding to features with surface brightness ~ 25 mag arcsec $^{-2}$, objects brighter than 17 mag and within the redshift $z < 0.5$ range. Except for very few cases, all the r -band SDSS images corresponding to our AGN and control samples, satisfy those requirements for its robust application (see also Appendix B).

Figure 3 illustrates some procedures behind the estimate of the image predictors and the application of the LDA method. The left panel shows an r -band image in false-color from which the corresponding segmentation map is built (right hand panel). The galaxy morphology tool *statmorph* (Rodríguez-Gomez et al. 2019) and the *photutils* package were used to define the segmentation map using a 1.5σ threshold above the background. The insets emphasize the most influential terms in the LDA classification; namely, the Linear Discriminant Parameter (LD1), the major merger probability (p_{merg}) and the Cumulative Distribution Function (CDF) value, which compares the p_{merg} value of each individual galaxy to that of all galaxies in SDSS. The inset on the segmentation map show the values of the corresponding non-parametric morphological predictors that were combined and that drive the major merger classification. Tables B1 and B2 in Appendix B report the results of the image predictors estimates from the SDSS r -band images for our type I and II AGN samples.²

Once the image predictors were estimated for our AGN and control samples, the next step is to apply the LDA method to optimize the major merger classification. According to Nevin et al. (2019), the decision boundary value of the LD1 parameter for the major merger combined runs is 1.16, thus all galaxies with $LD1 > 1.16$ will be classified as major mergers. Alternatively, in terms of merging probability (p_{merg}), all galaxies having $p_{\text{merg}} > 0.76$ will be considered as major mergers (See Tables 1 and 2, Column (7)). As previously mentioned, in the present work, we will consider the classifiers from the combined major merger simulations, and thus the classification reported here is related only to major mergers.

² The corresponding Table for the full non-AGN control sample will be presented by (Vázquez-Mata et al. 2023 in prep) as an update to the MaNGA morphological VAC

	Q1			Q2			Q3			IQR		
	non-AGN	type I	type II	non-AGN	type I	type II	non-AGN	type I	type II	non-AGN	type I	type II
T Type	-1	-0.5	-1	2	1	1	4	2	3	5	2.5	4
T Type (VC)	0	-1	-1	3	1	1	5	2	3	5	3	4
$\log(M_*)$	9.42	10.14	10.25	10.07	10.51	10.66	10.72	10.77	10.93	1.30	0.64	0.69
$\log(M_*)$ (VC)	9.21	9.72	9.88	9.62	10.04	10.21	10.06	10.35	10.50	0.85	0.63	0.62
g-i	0.67	0.86	1.03	0.96	0.98	1.15	1.17	1.11	1.24	0.50	0.25	0.21
g-i (VC)	0.62	0.86	0.95	0.81	0.95	1.06	1.02	1.09	1.18	0.40	0.23	0.24

Table 3. Quartil values for the boxplots shown in Figure 2. VC stands for volume-corrected distributions. The bold values are the Q2-median.

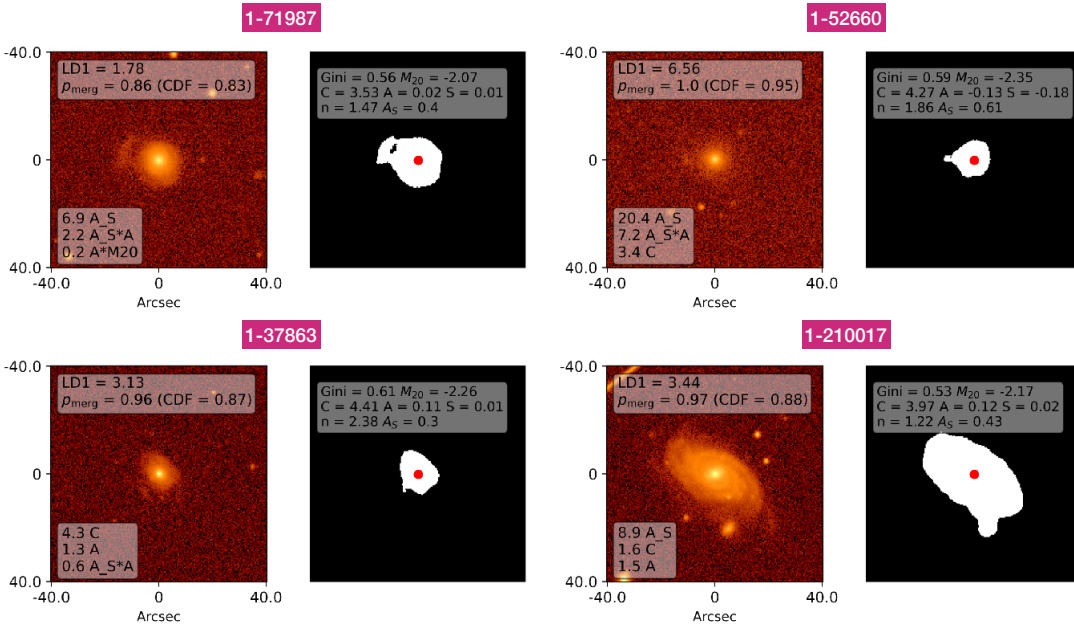


Figure 3. Diagnostic images (left panels) and segmentation maps (right panels) for a selection of galaxies classified with high probabilities of being major mergers. The diagnostic diagrams include the LD1 value and corresponding p_{merg} and CDF value for each individual galaxy in the inset box in the left top as well as the leading coefficients and corresponding predictors in the bottom left inset box. Finally, the predictor values are provided in the upper right inset panel. We also include the MaNGA ID (in purple) for each galaxy. Most of these galaxies exhibit disturbed features such as shells (upper left) or companion galaxies (lower right) which can be seen in the segmentation maps. These features contribute to high shape asymmetry values, which lead to large LD1 values.

3.1.1 Major Merger Stages

There is compelling evidence showing that merger-induced AGN activity is more important at more advanced stages of the merger process (Ellison et al. 2013; Van Wassenhove et al. 2012; Bickley et al. 2023). High-resolution hydrodynamical simulations predict that AGN activity generally increases with more advanced merger-stages but particularly as a pair coalesces into a post-merger stage (Van Wassenhove et al. 2012; Capelo et al. 2017). More recently, Byrne-Mamahit et al. (2023) investigated the accretion rates of SMBHs in post-merger galaxies drawn from the IllustrisTNG simulation finding accretion rates ~ 1.7 times higher than in control samples, also finding that the presence of simultaneous enhancements in either the star formation and SMBH accretion rates depends on both the mass ratio of the merger and on the gas mass of the post-merger galaxy.

Although the LDA method was originally designed for the entire duration of the merger process (from early to post-coalescence stages), more recently Nevin et al. (2023), following previous theoretical and observational work, has further refined the LDA classification into different stages to gain insight on the time-dependent evolutionary processes in mergers. That classification method is able to assign each galaxy a probability of being in a merging stage. They divided their classification into pre and post-coalescence stages to match the methodology of cosmological merger identification schemes (e.g., Hani et al. 2020; Bickley et al. 2021) and further divided the pre-coalescence classification into early and late stages to roughly match the stages in Moreno et al. (2015) and Pan et al. (2019) of first pericentric passage and apocenter (early) and final approach (late). They also implemented a sliding timescale for the

definition of the post-coalescence stage, using a time cutoff of 0.5 Gyr after coalescence and then additionally implementing a time cutoff of 1 Gyr, following [Bickley et al. \(2021\)](#) who found that the morphology of Illustris TNG galaxies is disturbed for up to 2.5 Gyr following a merger.

3.2 Tidal features

Observations as well as numerical simulations have shown how baryonic matter can trace merging events through the formation of discernible tidal features ([van Dokkum 2005](#); [Tal et al. 2009](#); [Kaviraj 2010](#); [Sheen et al. 2012](#); [Kim & Im 2013](#); [Hong et al. 2015](#); [Mancillas et al. 2019](#)). We present the results of a visual identification of bright tidal features in our AGN and control samples by using our r -band image post-processing from the SDSS and DESI surveys. Although our search is not detailed and far from complete (for related results, see [Vázquez-Mata et al. 2022](#)), this tidal census can be very useful to understand the morphological nature of the major mergers identified with the Linear Discriminant Analysis (LDA) method and their relation to other galaxy properties.

In [Vázquez-Mata et al. \(2022\)](#) both the r -band SDSS and DESI images of our AGN and control samples were post-processed by preserving their native pixel scales of $0.396''/\text{pix}$ and $0.262''/\text{pix}$, with a typical image quality FWHM (arcsec) = 1.4 and 1.3 respectively. Since both surveys also provide depth maps for each stacked image in each band, we have estimated the r -band 5σ depths at the outskirts of each AGN host, finding average surface brightness limits ~ 25 and $26.7 \text{ mag arcsec}^{-2}$ respectively. The residual images of the post-processing catalogue from the DESI Legacy Survey were also retrieved and included in our identification mosaics, providing valuable information of morphological features in the inner and outer regions of galaxies. For more details on the residual images, and on The Tractor package see [Dey et al. \(2019\)](#).

Figure 4 summarizes the results of our image post-processing in the form of mosaics for a few examples of type I AGN hosts. From left to right; the gri SDSS composite image, the grz DESI composite image, the PSF-convolved residual DESI image (after subtracting the best 2D surface brightness model), the DESI filtered-enhanced r -band image and the residual r -band image (after subtracting our best Galfit 2D surface brightness model). Similar mosaics for type II AGN hosts are shown in Figure 5. Notice the variety of morphological types associated to our AGN samples.

4 RESULTS

4.1 Major mergers and merger stages with the LDA method

The numerical values of the image predictor parameters (Sect. 3.1) for our AGN samples, are reported in Tables B1 and B2. The resulting LD1 major merger classifier parameters are presented in Column (7) of Tables 1 and 2. For type I AGN, the LDA method identified 15 major mergers ($\text{LD1} > 1.16$) out of 43 AGN hosts ($35\% \pm 7\%$) with good quality data ($m_r < 17$ and $S/N > 2.5$), from which 13 belong to S0-Sb morphological types and two to Sc type. Neither of the six elliptical galaxies in this sample were identified as a major merger. For type II AGN, 55 major mergers were identified out of 214 hosts ($26\% \pm 3\%$) with good quality data, from which 43 belong to S0-Sb types and 5 to Sbc type. Error estimates correspond to the

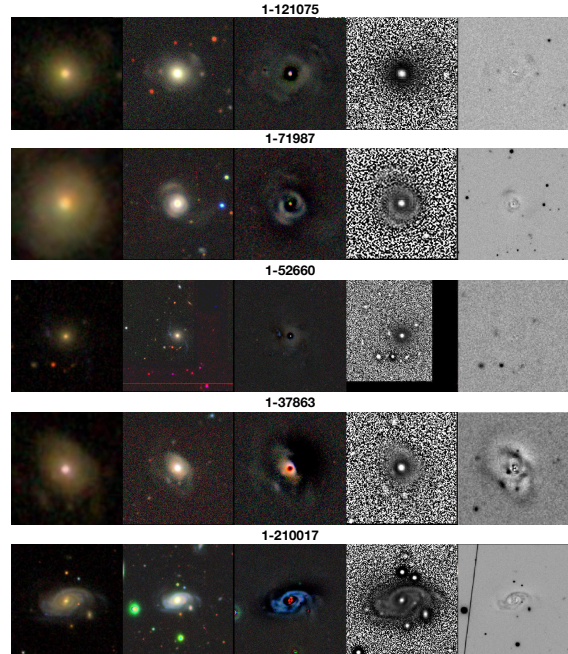


Figure 4. SDSS, DESI Legacy Post-processed Images and Galfit Residuals for the Major Merger Candidates. From left to Right; SDSS gri image, DESI grz image, DESI residual after subtracting a set of parametric light profiles, the DESI filter-enhanced r -band image and the residual r -band image after subtracting a 2D bulge/disk/bar/nuclear source. The presence of shells are evidenced in these images.

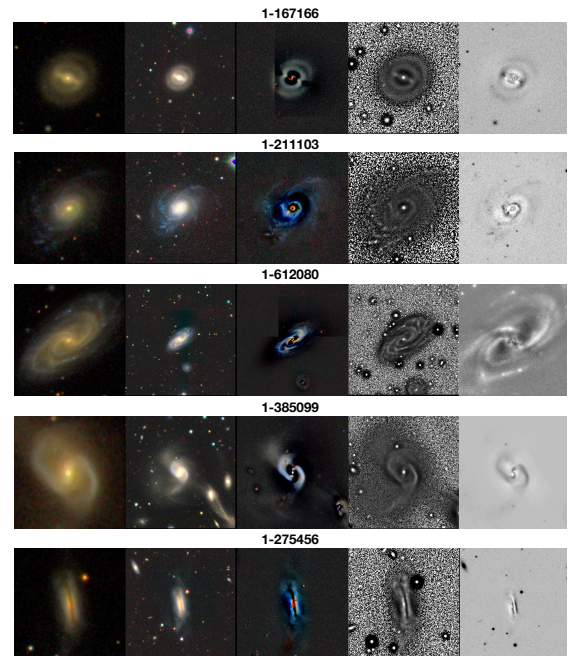


Figure 5. Same as figure 4 but for type II AGN hosts.

standard deviation as computed from binomial statistics³ This time, 7 elliptical galaxies were identified as major mergers. Our results show a dominant fraction of early type disks (< Sb types) among the identified mergers, a result expected from the abundance of early type disk galaxies among our AGN samples (see Section 2.2). Notice however, that other observational works using different identification schemes like the visual identification of pairs of merging galaxies from the Galaxy Zoo project (e.g., Darg et al. 2010), also show a prevalence of early-type spirals over elliptical galaxies, similar to our results. Although the LDA method was trained mostly upon disk-dominated galaxies, a recent analysis of its performance by Nevin et al. (2023) shows its robustness in identifying mergers across a wide range of morphologies, stellar masses, and redshifts. Therefore, a bias related to the morphological content of the identified mergers is not expected.

We next proceed to identify the merger stages adopting the hierarchical method presented in Nevin et al. (2023). To that purpose we compared the p_{merg} (50th percentile) probability of being in a merging stage (pre-coalescence or post-coalescence), choosing the higher p_{merg} value. Since the 16th and 84th percent values associated to each p_{merg} were also reported, an interquartil (84th - 16th) difference is used as a gross confidence interval to distinguish between pre-coalescence and post-coalescence merger stages.

For type I AGN, the hierarchical method finds $66\% \pm 5\%$ in the post-coalescence stage and $20\% \pm 6\%$ in the pre-coalescence stage with 13% of unclassified cases. For type II AGN, the method finds $46\% \pm 4\%$ in post-coalescence stage and $24\% \pm 5\%$ in the pre-coalescence stage, this time with 29% of unclassified cases. The results for the combined type (I+II) AGN sample are $51\% \pm 5\%$ in the post-coalescence stage and $23\% \pm 6\%$ in the pre-coalescence stage, with 26% of unclassified cases. The unclassified cases refer to those having an outlier predictor flag in their photometric properties, meaning that the predictor values are outside of the predictor values of the simulated training set. Some of them have also low S/N flags. Thus they are not included in the classification.

If the interquartile difference is adopted as a confidence interval around each p_{merg} value, then we can cleanly separate merger stages only for about half of the mergers; 13% in pre-coalescence and 26% in post-coalescence for the combined type (I+II) AGN sample, with the other half being not-distinguishable within such broad interquartil difference. In any case, the hierarchical method indicates approximately a factor of 2 prevalence of post-coalescence merger stages over pre-coalescence stages among the major mergers identified with the LDA method in our AGN samples.

For each predicted merger, we further used our image mosaics in combination with the DESI Legacy Survey Sky Browser to carry out and independent visual classification of the merger stages. We looked for galaxies within 1:2 and 1:3 the size of each target inspecting a wide field of view around each target, retrieving information on their radial velocities to confirm a physical association within 600 km s^{-1} . We named a first category as separated or pre-merger stage, referring to systems having separations greater than two apparent diameters of the major merger target. A second category was named as advanced/post-merger stage, referring to galaxies well within one diameter of the major merger target, galaxy cores not settled yet sharing a common diffuse light envelope, and galaxies already settled with the appearance of a single galaxy showing evidence of tidal features.

³ $\sigma = \sqrt{npq}$, where n is the total sample, p the probability of success and $q = 1 - p$.

Type I and II AGN Hosts with Tidal Features				
type I AGN				
Images r-band	Early (E)	Early Disk (S0-Sb)	Late Disk (Sbc-Sc)	Total (out of 47)
SDSS	3	11	-	14 (30±7)%
DESI	4	12	-	16 (34±7)%
type II AGN				
Images	Early (E)	Early Disk (S0-Sb)	Late Disk (Sbc-Sc)	Total (out of 236)
SDSS	11	60	2	73 (31±3)%
DESI	16	65	2	83 (35±3)%

Table 4. The fraction of tidal features in type I and type II AGN samples and their morphological content.

Our visual identification yields $60\% \pm 5\%$ in post-coalescence stage and $40\% \pm 5\%$ in pre-coalescence stage for type I AGN mergers. For type II AGN mergers, $68\% \pm 5\%$ are in post-coalescence stage and $32\% \pm 5\%$ in pre-coalescence stage. The results for the combined type (I+II) AGN sample are $65\% \pm 5\%$ in post-coalescence stage and $35\% \pm 5\%$ in pre-coalescence stage. As with the hierarchical method, this analysis shows a higher incidence of post-coalescence over pre-coalescence merger stages among our major mergers.

A comparison of these results indicates that (i) there is no overlap of the percentages (within the quoted uncertainties) predicted by the LDA and visual methods. However, they are in qualitative agreement, both finding a higher number of post-mergers over pre-mergers. (ii) For type I AGN mergers, these percentages are not far from one another. For type II AGN mergers, the higher incidence of unclassified cases makes the comparison more difficult. However, notice that (iii) the fraction of (pre + post coalescence) coincidences between the LDA and visual methods is relatively high, reaching 66% in type I AGN and 57% in type II AGN, with 59% for the combined type (I+II) AGN sample.

4.2 Tidal features

For type I AGN, we find visual evidence of bright tidal features in the SDSS images in 14 out of 47 host galaxies ($30\% \pm 7\%$). For type II AGN, such evidence is found in 73 out of 236 host galaxies ($31\% \pm 3\%$). In addition, when using the deeper images from the DESI survey, we find tidal features in 16 out of 47 host galaxies ($34\% \pm 7\%$) in type I AGN, while for type II AGN, these are found in 83 out of 236 host galaxies ($35\% \pm 3\%$). The occurrence of tidal features and the morphological content of their corresponding host galaxies are summarized in Table 4. Given that the LDA method was optimized upon the SDSS image properties, for consistency we report in Column (6) of Tables 1 and 2 a binary (Yes/No) flag indicating a (positive/negative) detection of tidal features in type I and type II AGN hosts after inspecting the SDSS images.

Our results using the SDSS images indicate an almost factor of two higher incidence of tidal features in the combined type (I+II) AGN sample when compared to $16\% \pm 0.7\%$ found for galaxies in a non-AGN control sample matched in stellar mass and redshift (see also Vázquez-Mata et al. 2022), that increases to a factor slightly higher than two when using the DESI images.

It is worth mentioning that while most of the apparent tidal fea-

tures in the SDSS images were confirmed with the DESI images, some were not, finding instead, that they are part of other structural components (outer arms or rings). Other subtle features were also identified in the deeper DESI images yielding thus a slightly higher fraction of tidal features than in the SDSS images.

Nevin et al. (2019) assessed the accuracy of the LDA method finding that the SDSS-based results show a higher false negative rate than false positive rate, meaning it is more likely to miss mergers than misclassify non-merging galaxies as mergers. Since we lack a more detailed analysis of the performance of the LDA method trained on DESI images, we cannot say for sure, but we suspect that the LDA method trained on the deeper DESI images would have a lower false negative rate. In particular, it might be more sensitive to mergers with faint tidal tails and/or higher redshift mergers (though this is beyond the scope of this work).

4.3 LDA major mergers versus tidal features

As described in § 3.1, the LDA method was not trained on the basis of a visual identification of tidal features, so we expect that major mergers selected with the LDA method do not necessarily capture the evidence on the wide variety of tidal features found. A cross-match of Tables 1 and 2 confirms that not all galaxies qualifying as major mergers with the LDA method ($LD1 > 1.16$) show tidal features, nor all galaxies with tidal features are identified as major mergers with the LDA method. For type I AGN, on one side, the LDA method identifies 15 major mergers out of 43 hosts ($35\% \pm 7\%$) with good quality data. On the other side, 14 out of 47 hosts ($30\% \pm 7\%$) show evidence of tidal features. In this case, more than half of the major mergers show tidal features (9 coincidences), all nine belonging to S0-Sb types. Among the 6 ellipticals in this sample, 3 show evidence of tidal features, but none of them was identified as a major merger with the LDA method. Similarly, for type II AGN, the LDA method identifies 55 out of 214 hosts ($26\% \pm 3\%$) with good quality data while, on the other side, 73 out of 236 hosts ($31\% \pm 3\%$) show evidence of tidal features. Again, more than half of the major mergers show tidal features (33 coincidences), 29 belonging to S0-Sb types, 1 to Sbc type, and 3 Elliptical galaxies.

Furthermore, the configuration of the tidal features on the SDSS images could also play an important role in the identification of major mergers with the LDA method. If tidal features are present but appear as symmetric structures or do not satisfy the LDA image S/N requirements, then they may not be captured in the segmentation maps and thus will not be classified as a major merger. Therefore, it is expected, and confirmed by our results, that the galaxies classified as major mergers are not necessarily coincident with those showing tidal features or viceversa.

Among major mergers identified with the LDA method, showing at the same time evidence of tidal features, we also noticed a prevalence of early-type disks over ellipticals. This is also expected given the clear dominance of early-type disks among our mergers.

4.4 Statistical significance of the LDA results

To test the significance of the identification of major mergers in our AGN samples, we compiled a control sample of MaNGA DR15 non-AGN galaxies by matching the morphological type, color, stellar mass and redshift distributions of our type (I+II) AGN sample. The MaNGA DR15 sample is large enough (> 4500 galaxies) to permit the compilation of a control sample with ~ 20 non-AGN control galaxies per matched bin.

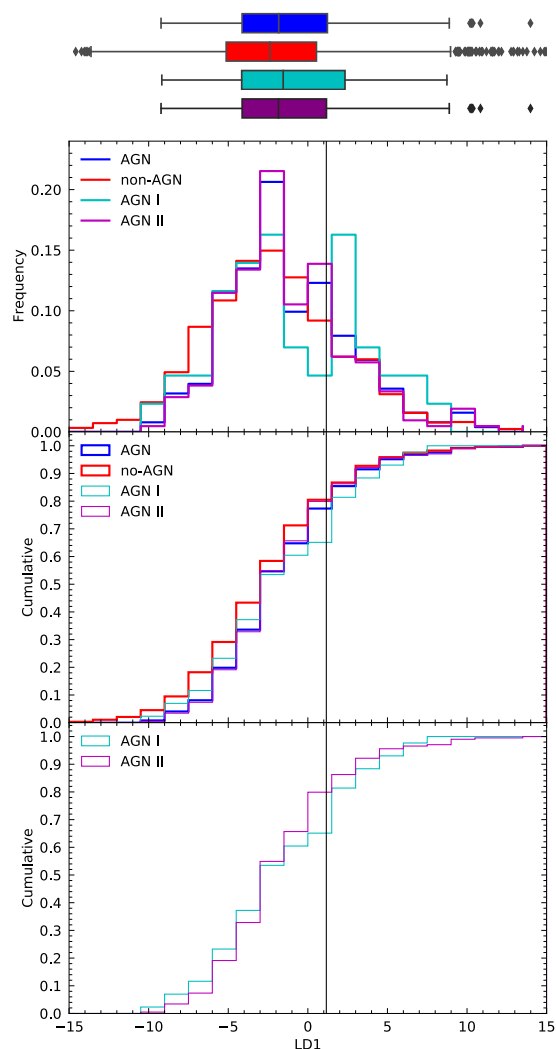


Figure 6. Cumulative LD1 parameter distributions for non-AGN (red) and AGN (blue) p_{merg} mass. AGN sample is subdivided by type I (cyan) and type II (purple). The top panel shows the boxplots of the LD1 distributions.

The SDSS images of galaxies in the control samples were processed in a similar way as those in our AGN samples in order to estimate the corresponding image predictors and further apply the LDA method.⁴ We find that the relative fraction of major mergers ($LD1 > 1.16$) in the non-AGN control sample is $22\% \pm 0.8\%$, compared to $35\% \pm 7\%$, $26\% \pm 3\%$, and $29\% \pm 3\%$ for the AGN type I, type II, and combined type (I+II) samples, respectively. The above fractions suggests a higher major merger incidence in our combined AGN sample than in non-AGN galaxies. However, it is important to assess the statistical significance of these results.

⁴ The image predictor values for the galaxies in the control samples will be published as part of an update of the MaNGA morphological VAC (Vázquez-Mata et al. 2023, in prep).

	Q1	Q2	Q3	IQR
AGN I+II	-4.13	-1.83	1.23	5.37
non-AGN	-5.13	-2.38	0.54	5.67
AGN I	-4.16	-1.55	2.33	6.49
AGN II	-4.13	-1.85	1.16	5.29

Table 5. Quartil values for the boxplots shown in Figure 6.

sample	KS-test p-value	T-test p-value
non-AGN vs AGN I+II	0.01	0.0
non-AGN vs AGN I	0.16	0.11
non-AGN vs AGN II	0.01	0.01
AGN I vs AGN II	0.21	0.75

Table 6. KS- and T-test values for the boxplots shown in Figure 6.

The upper panel of Figure 6 shows the resulting LD1 frequency distributions for the individual type I, type II and combined (type I+II) AGN host samples, and the control non-AGN sample. The corresponding cumulative distributions are also shown in the middle panel, while a relative comparison between type I and type II AGN hosts is attempted in the lower panel. The solid black line along the three panels is the LD1 threshold value for major merger candidates. On top of Figure 6, a set of boxplot diagrams are displayed to visualize the LD1 distribution for each sample. All values inside the whiskers belong to the LD1 distribution for each sample. The ones outside are considered outliers (grey diamonds). Only the ones with values greater than their respective U_W , will be considered since they are major merger candidates.

To compare the distributions we use the boxplots diagrams, a student T-test looking for differences in the mean, and the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test. Table 5 shows the values of the different percentiles of the LD1 distributions and Table 6 reports the results of the K-S test after comparing the cumulative distributions and of the Student T-test for the significance of the mean.

The boxplots of the combined type (I+II) AGN and non-AGN samples show similar grouping or tightness around the corresponding median, but with a slightly more asymmetric distribution towards positive values for the combined type (I+II) AGN sample. This is reinforced by the Q_3 value since it is greater than the limit value (1.16) for the identification of major mergers for the combined type (I+II) AGN sample, and smaller than that limit for the control sample. Both the K-S and Student T-tests indicate that the cumulative LD1 distribution of the type (I+II) AGN sample is significantly different than that of the control sample with a mean that is slightly higher but also significant, meaning that the combined type (I+II) AGN sample shows a moderate higher (roughly of 30%) incidence of major mergers.

If a comparison between type I and II AGN samples is attempted, the corresponding boxplots show that they have similar limits but different grouping or tightness around each median. The Q_3 values also hint that the fraction of major merger candidates ($LD1 > 1.16$) is greater for type I AGN compared to type II AGN. However, in this case the K-S and Student T-tests suggest non-significant differences, probably reflecting that more significant numbers in the type I AGN sample, are required for a robust comparison.

4.5 Implications for the level of Nuclear Activity

Mergers could leave an imprint on the host galaxies by influencing the triggering of past and recent nuclear activity. Some studies support the predictions that major merging may explain the enhancement of SF activity (e.g., Ellison et al. 2008; Jogee et al. 2009; Patton et al. 2011; Scudder et al. 2012; Barrera-Ballesteros et al. 2015; Cortijo-Ferrero et al. 2017a,b,c; Thorp 2019; Pan et al. 2019), and the elevation of AGN activity (e.g., Ellison et al. 2011; Treister et al. 2012; Satyapal et al. 2014; Weston et al. 2017; Hewlett et al. 2017).

Under that scenario, we can test the expectation that SMBH in mergers could accrete material at higher rates than those found in our non-merger AGN counterparts. [OIII] luminosity ($L_{[OIII]}$), available from our spectroscopic analysis to the MaNGA AGN samples (Cortés-Suárez et al. in preparation), can be used as a measure of the level of SMBH accretion (e.g., Heckman & Best 2014). [OIII] luminosities were corrected for reddening using the reddening curve from Calzetti et al. (2000), assuming $R_V = 3.1$ and case-B recombination, $H\alpha/H\beta = 2.86$. Figure 7 shows the $\log L_{[OIII]} - \log M_*$ diagram for type I AGN (upper left panel) and type II AGN (lower left panel), highlighting in each case the identified AGN merger candidates (red) and non-merger AGN (blue) in this work. Additional symbols (red pluses for pre-mergers, and magenta crosses for post-mergers) emphasize the results of the merger stage classification from Nevin et al. (2023). The vertical and horizontal dashed lines in each panel show the representative median $\log M_*$ and $\log L_{[OIII]}$ values for non-mergers AGN (blue) and merger AGN (red).

The left panels in Figure 7 show an apparent trend in type I and II AGN of increasing $\log L_{[OIII]}$ values as the stellar mass increases. Mergers in AGN also appear more massive (median $\log M_*$, red dashed vertical line) and more luminous (median $\log L_{[OIII]}$, red dashed horizontal line) than their corresponding non-mergers counterparts (median horizontal and vertical blue dashed lines) with higher differences shown by type I AGN (upper panel) than type II AGN (lower panel).

The right-hand panels of Figure 7 show the $L_{[OIII]}$ enhancement ($\Delta \log L_{[OIII]}$) defined as the mean of merger AGN ($\log \langle L_{[OIII]} \rangle_m$) compared with the mean of non-merger AGN ($\log \langle L_{[OIII]} \rangle_n$) in a given mass bin,

$$\Delta \log L_{[OIII]} = \log \langle L_{[OIII]} \rangle_m - \log \langle L_{[OIII]} \rangle_n \quad (1)$$

The horizontal error bars represent the size of the stellar mass bins ($\Delta \log M_* = 0.5$), while the vertical error bars represent the interquartile difference (84% - 16%) around the median, after the $L_{[OIII]}$ statistics in a mass bin.

Despite the large error bars, type II AGN (lower right-hand panel) mergers could reach a maximum enhancement of 0.4 dex (2.5 \times) compared to non-mergers, while type I AGN mergers (upper right-hand panel) could reach a maximum about 0.9 dex ($\sim 8\times$) compared to non-merger AGN. These results are consistent with those by Ellison et al. (2013) reporting that close pairs and post-mergers show [OIII] luminosities enhancements $\sim 3\times$ and $8\times$ higher than their corresponding control samples, respectively. However, notice that other works like Jin et al. (2021) and Steffen et al. (2023) using pairs from the MaNGA survey find that the [OIII] luminosity of AGN in paired galaxies is rather consistent with the AGN control galaxies (matching in mass and redshift).

The left panel of Figure 7 also highlights the loci of the identified merger stages; pre-mergers (magenta plus symbols) and post-mergers (green crosses) in the type I AGN (upper panel) and type II AGN (lower panel) samples.

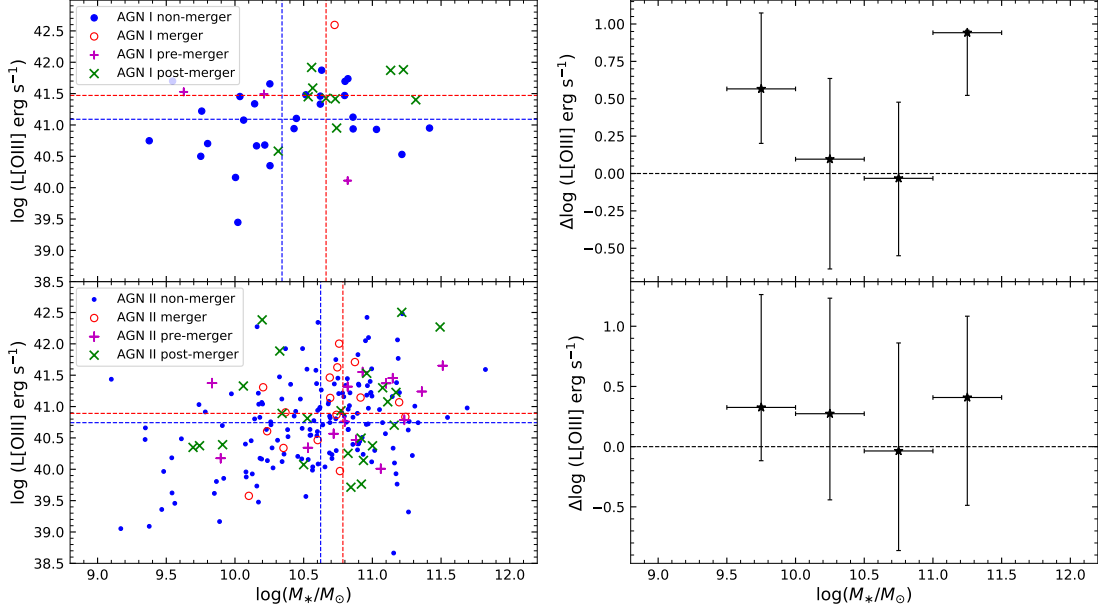


Figure 7. Left-hand panels: The $\log(M_*/M_\odot)$ - $\log L_{[\text{OIII}]}$ diagram for type I AGN (upper left panel) and type II AGN (lower left panel). Mergers in AGN (red symbols) as well as non-mergers in AGN (blue symbols) are highlighted along with their corresponding merger pre-coalescence (red crosses) and post-coalescence (green crosses) stage when available. The horizontal and vertical dashed lines represent the median values of $\log(M_*/M_\odot)$ and of $\text{Log}L_{[\text{OIII}]}$ for mergers (red) and non-mergers (blue). The right-hand panels show the $L_{[\text{OIII}]}$ enhancement, ($\Delta \log L_{[\text{OIII}]} = \langle L_{[\text{OIII}]} \rangle_m - \langle L_{[\text{OIII}]} \rangle_n$) shown by the mean of merger AGN compared to the mean of non-merger AGN, in a given 0.5 dex wide stellar mass bin. The horizontal bars represent the bin size and the vertical bars represent the interquartile difference around the median.

At this point it is important to evaluate the impact of the accuracy of the identification of major mergers in our results. If an important fraction of false mergers were included in our AGN samples, their predicted effect would be to lessen the average enhancement in [OIII] luminosity in mergers when compared with non-mergers. Nevin et al. (2019) have tested the contamination of non-mergers in the major merger sample using their simulations finding that it is low. Specifically, the precision, which quantifies the number of true positives relative to all positives (true and false) is of the order 96%.

4.6 Bars and Nuclear Activity

Our AGN samples show relatively lower levels of AGN activity. The median $L_{[\text{OIII}]}$ in our type II AGN is $10^{40.74} \text{ erg s}^{-1}$, whereas for our type I AGN, $L_{[\text{OIII}]} = 10^{41.37} \text{ erg s}^{-1}$, overlapping in part but also even lower than the levels in other samples of AGNs in the local universe (Oh et al. 2015; Liu et al. 2019). If $L_{\text{bol}} = C \times L_{[\text{OIII}]}$, where $C = 142$ for AGNs with $\log(L_{[\text{OIII}]} / \text{erg s}^{-1}) = 40-42$ (Lamastra et al. 2009), then $L_{\text{bol}} \sim 10^{42.90}$ and $10^{43.52} \text{ erg s}^{-1}$, respectively. If we further consider representative median values M_* for our type I and II AGN samples from the volume-corrected mass distributions in §§ 2.2 and estimate median SMBH masses through the M_* - M_{BH} relation (e.g., Reines & Volonteri 2015), then our AGN samples reach Eddington ratios ~ 0.005 and ~ 0.030 , respectively. These modest levels of AGN activity could also be sustained by internal sources of fueling (Ho 2009) or mediated by secular processes without external gas supply through dynamical interactions or mergers being the primary mechanism.

We look for evidence of a possible secular scenario that could explain the observed levels of AGN activity in our samples. To that purpose we use the information on the incidence of bars coming from a detailed visual morphological classification of the MaNGA sample (Vázquez-Mata et al. 2022). While the fraction of mergers found in our combined type I+II AGN sample is about $29\% \pm 3\%$, more than half ($\sim 56\% \pm 3\%$) of the disk galaxies hosting our type I and II AGN samples are barred, and even the few cases of Sbc-Sc galaxies hosting our AGN are in 75% of the cases barred. For the corresponding control sample, matched in stellar mass, color and redshift, the fraction of bars in galaxies of morphological types later than S0 is $46\% \pm 2\%$, similar to fractions reported in other local samples of field galaxies using quantitative bar detection methods on SDSS images (e.g., Aguerri et al. 2009). It is also important to evaluate the impact of the accuracy of the identification of bars in our results. Our image post-processing and the resolution of the SDSS and DESI images allowed us to detect a wide variety of bars such as bright bars with sharp ends, Ferrers and Freeman bars, and bars associated to lenses and spiral arms. A potential problem is the detection of flat bars showing a smooth transition to the disk, bars aligned with the disk, and small-sized bars embedded in prominent bulges. However, the residual images of the DESI legacy survey, the residual images after our Galfit 2D decomposition, and our filter-enhanced images, proved to be very useful for their identification. Thus, neglecting inclination effects, we are minimizing the presence of false positive bar detections that could affect our results. For more details on the visual identification of bars see Vázquez-Mata et al. (2022, 2023 in prep.).

Similar to Figure 7, the left-hand panels in Figure 8 highlight

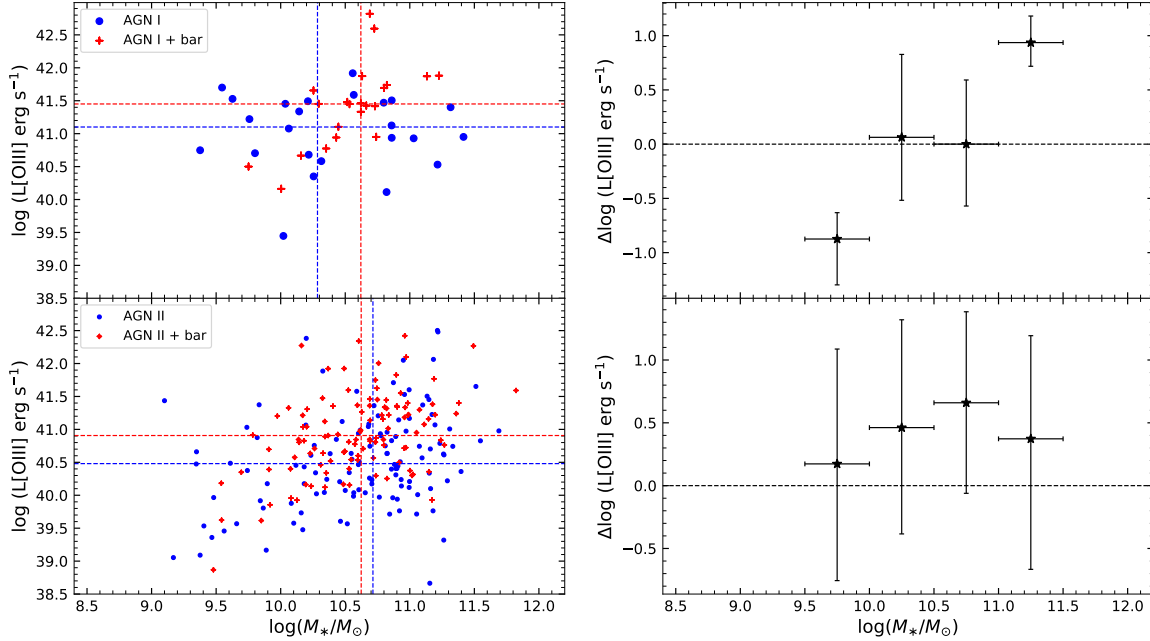


Figure 8. Left-hand panels: The $\log(M_*/M_\odot)$ - $\log L_{[\text{OIII}]}$ diagram for barred (red symbols) and non-barred (blue symbols) AGN hosts. The corresponding horizontal and vertical dashed lines represent the median values of $\text{Log}(M_*/M_\odot)$ and $\log L_{[\text{OIII}]}$ values for barred (red) and non-barred (blue) galaxies. Right-hand panels: The enhancement in $L_{[\text{OIII}]}$ ($\Delta \log L_{[\text{OIII}]} = \log \langle L_{[\text{OIII}]} \rangle_b - \log \langle L_{[\text{OIII}]} \rangle_n$) shown by barred AGN compared to non-barred AGN. The horizontal bars represent the bin size (0.5 dex) and the vertical bars represent the interquartile difference around the median.

barred AGN (red symbols) and non-barred AGN (blue symbols). The vertical and horizontal red and blue dashed lines represent their corresponding median $\log(M_*/M_\odot)$ and $\log L_{[\text{OIII}]}$ values. The left-hand panels show an apparent global trend of the barred type I and II AGN to have higher $\log L_{[\text{OIII}]}$ values as the stellar mass increases, with Pearson correlation coefficients $p = 0.72$ and $p = 0.46$ for type I AGN and type II AGN, respectively.

By defining the level $L_{[\text{OIII}]}$ enhancement in a similar way as that in Figure 7, an internal comparison between barred and non-barred type I AGN shows that bars in type I AGN produce a significant luminosity enhancement when compared to non-barred type I AGN (Student t-test $p = 0.03$). Similarly, bars in type II AGN also produce a noticeable luminosity enhancement when compared to non-barred type II AGN (Student t-test $p = 2 \times 10^{-5}$).

A comparison of the effects produced by mergers and bars in Figures 7 and 8 shows that type II barred AGN (lower right-hand panel in Figure 8) reach a maximum level of ~ 0.7 dex ($5\times$) compared to non-barred AGN, higher than the maximum level ($2.5\times$) found in type II AGN mergers, whereas in type I AGN (upper right-hand panel in Figure 8) the bar enhancement reach a maximum of about 0.9 dex ($\sim 8\times$), comparable to the maximum level found in type I AGN mergers.

These results indicate that the AGN activity in our low luminosity AGN samples is not uniquely promoted by merger events but could be contributed by bars. Since we have evaluated that the contamination of non-mergers and false bars is not important and thus, is not impacting the observed levels of enhancement, we conclude that bars are also playing a fundamental role in the AGN stimulation among our AGN samples. In line with our results, Alonso et al. (2018) have

shown that the dynamical perturbations produced by interactions and mergers (previous to full coalescence) and bars produce an enhancement in nuclear activity and accretion rate in AGN galaxies with bars being a more efficient mechanism than interactions. Furthermore, they report that the efficiency of the mergers and interactions in transporting material towards the inner regions of galaxies depends not only on the properties of the hosts but also strongly on the perturber companion properties. When the perturber companion tends to be massive, luminous, and with high gas content, the effect of mergers and interactions on the central nuclear activity tends to be as efficient as that induced by bars. Thus, a more appropriate comparison of the levels of enhancement produced by bars and mergers (those in stages previous to full coalescence) should take into account the properties of the perturber companions. However, that is out of the scope of the present paper. Another important factor to take into account in this comparison is the difference in timescales of the processes involved, something debated in section 5.

If we look for the fraction of major merger AGN that are simultaneously barred, we find $53\% \pm 13\%$ for type I AGN and $55\% \pm 7\%$ for type II AGN. On the contrary, if we look for the fraction of barred AGN that simultaneously are major mergers we find $35\% \pm 10\%$ for type I AGN and $23\% \pm 4\%$ for type II AGN. Thus, within our AGN samples, being a merger and simultaneously having a bar is more frequent than having a bar and simultaneously being a merger.

Peirani et al. (2009) and Moetazedian et al. (2017) have shown that merging galaxies can induce bars prior to the collision, however, very few is known about how bars can emerge from the aftermath of a merger. Cavanagh & Bekki (2020) considered three generic ways of bar formation: (i) the spontaneous self-gravitating isolated model,

(ii) the tidal interaction model, and (iii) the galaxy merger model with two bar formation phases identified during galaxy merging. They find that mergers with low mass ratios and closely-aligned orientations are considerably more conducive to bar formation compared to equal-mass mergers. They also find that it is possible for a bar to regenerate in the case of nearly equal spin angles in a major merger, inferring that the transfer of angular momentum is key to the regeneration of the bar.

Bar formation appears as a process naturally linked to the merger process so that it is expected that an important fraction of the major mergers (either in pre- or post-coalescence stage) in this work show at the same time a bar, as shown by our results. On the other side, by looking at the fraction of barred AGN that simultaneously are major mergers, since the bar formation process is not only related to major mergers, it is thus expected that a lower fraction of bars in our AGN samples are associated only to major mergers, as also shown by our results. Another possibility is that the LDA method is somewhat biased to assume bars are in non-interacting galaxies or minor mergers. Although [Nevin et al. \(2023\)](#) does not address the existence of a bias with bars in the LDA method, we discard such a bias since the LDA method relies on morphology with training sets including weak and strong bars in both the merger and non-merger samples, thus making it not biased against bars.

4.7 The Local and Large Scale Environment

Finally, we investigate potential differences that may be associated to the environment and that could be affecting the results of a statistically significant higher incidence of major mergers in our AGN samples compared to a control non-AGN sample. Galaxies are also exposed to the influences of their local and large-scale environment. Galaxy properties correlate with the Large-Scale background density Structure (LSS) at low redshift (e.g., [Park & Choi 2009](#); [Muldrew et al. 2012](#), and reference therein.), and there is also evidence linking the presence of AGNs to the local environment (e.g., [Ellison et al. 2013](#), and references therein). On the other hand, other studies ([Sabater et al. 2013, 2015](#)) suggest that large-scale environment and galaxy interactions play a fundamental but indirect role in AGN activity (by influencing the gas supply).

To this purpose we compiled a non-AGN control sample, by matching only the redshift interval in order of not biasing its environment properties. To proceed, we adopted various environment quantifications reported in the Galaxy Environment for MaNGA Value Added Catalogue (GEMA-VAC; [Argudo-Fernández et al.](#), in prep.) based on the methods described in [Argudo-Fernández et al. \(2015\)](#).

We consider the information on the tidal strength parameter Q , defined as an estimation of the total gravitational interaction strength that the neighbours produce on a target central galaxy with respect to its internal binding forces. We also consider those estimates on various scales namely: (i) the Q_{nn} parameter defined as the tidal strength of the 1st nearest neighbour and, (ii) a more global characterization of the Large Scale Structure (LSS) environment by all the neighbours within 500 km/s line-of-sight velocity difference, up to 5 Mpc projected distances in a volume limited sample up to $z < 0.15$ traced by the parameter Q_{lss} , defined as the tidal strength of the LSS. Notice that the environment probed with these parameters do not include the influence of much more denser regions, where differences could be found.

Figure 9 shows on the left column the frequency distributions and on the right column the cumulative distributions of the environment indicators Q_{lss} (upper panels) and Q_{nn} (lower panels) for our type I (cyan), type II (purple), combined (I+II; in blue) and non-AGN

control MaNGA DR15 sample (red). On top of the right columns the corresponding boxplots diagrams are also shown. Tables 7 and 8 summarizes the percentiles of the distribution for each environmental parameter and the results of a K-S and Student t-test after comparing the corresponding cumulative distributions and the significance of the mean.

For the interpretation of the frequencies and cumulative distributions, we adopt representative values for Q_{lss} for isolated galaxies, isolated pairs and isolated triplets reported in [Argudo-Fernández et al. \(2015\)](#). We also built frequency distributions of galaxies in a range of environments from poor groups ($3 < n < 15$), rich groups ($15 < n < 50$) and clusters ($n > 50$) catalogued in [Yang et al. \(2007\)](#) and in common with the MaNGA sample in order to find representative Q_{nn} and Q_{group} values for these environments.

According to [Argudo-Fernández et al. \(2015\)](#) the representative environment Q_{lss} values for isolated pairs and isolated triplets range from -5.5 to -5.0 , with values smaller than -5.5 associated to galaxies in more isolated environments, and values greater than -5.0 associated to poor groups and increasingly rich groups. According to this, the representative Q_{lss} environment of our type I, II, and non-AGN samples goes from that of poor groups to that of intermediate/rich groups, and our comparison in Tables 7 and 8 shows that they are non-significantly different. The percentile values show slight differences between samples in both Q_{lss} and Q_{nn} . However, for the Q_{lss} distribution we can see that lower percentile values, Q_1 , are higher than -5 , which means that less than 25% of the combined type (I+II) AGN and control samples are in isolated environments.

Representative Q_{nn} values are slightly lower than Q_{lss} values since for Q_{nn} only the nearest galaxy is considered, exerting typically of the order of 90% of the total tidal force. Thus, in the lower panel a slight shift to lower values compared to Q_{lss} are observed corresponding to poor and intermediate/rich groups. Our comparisons also show non-significant differences in the cumulative and mean of type I, II, and non-AGN samples.

Notice that parameters like Q_{group} although useful, were not considered here due to a lack of available information. According to our tests, we cannot reject the null hypothesis that our type I, II, combined type (I+II) and non-AGN samples are drawn from the same population, with non-significant differences in the mean, concluding that these samples share a similar local and LSS environment, discarding possible influences of the local environment in our results on the incidence of mergers in our AGN samples. A more detailed study of the Large Scale Environment of MaNGA galaxies by using a geometric characterization of the cosmic web with methods described in [Aragón-Calvo et al. \(2007\)](#) is reserved for a forthcoming analysis.

5 DISCUSSION

Previous statistical studies on the AGN-merger connection have found conflicting results as reviewed in [Ellison et al. \(2019\)](#) and [Gao et al. \(2020\)](#). However, as these authors discuss, it is important to consider that these types of studies have used different sample selection and AGN criteria, as well as different methods for identifying mergers. The above introduces various and different selection biases in the results of each study. First of all, we emphasize that depending on the observational sample and the method used for the study, different stages of the merging process are considered, from early pre-merger stages ($< 0.5 - 1$ Gyr before the coalescence) to late post-merger stages (up to ~ 2 Gyr after the coalescence). On the other hand, the timescales of the AGN phenomenon are usually short, no more than 0.2-0.3 Gyr, and more commonly of 0.01-0.1 Gyr

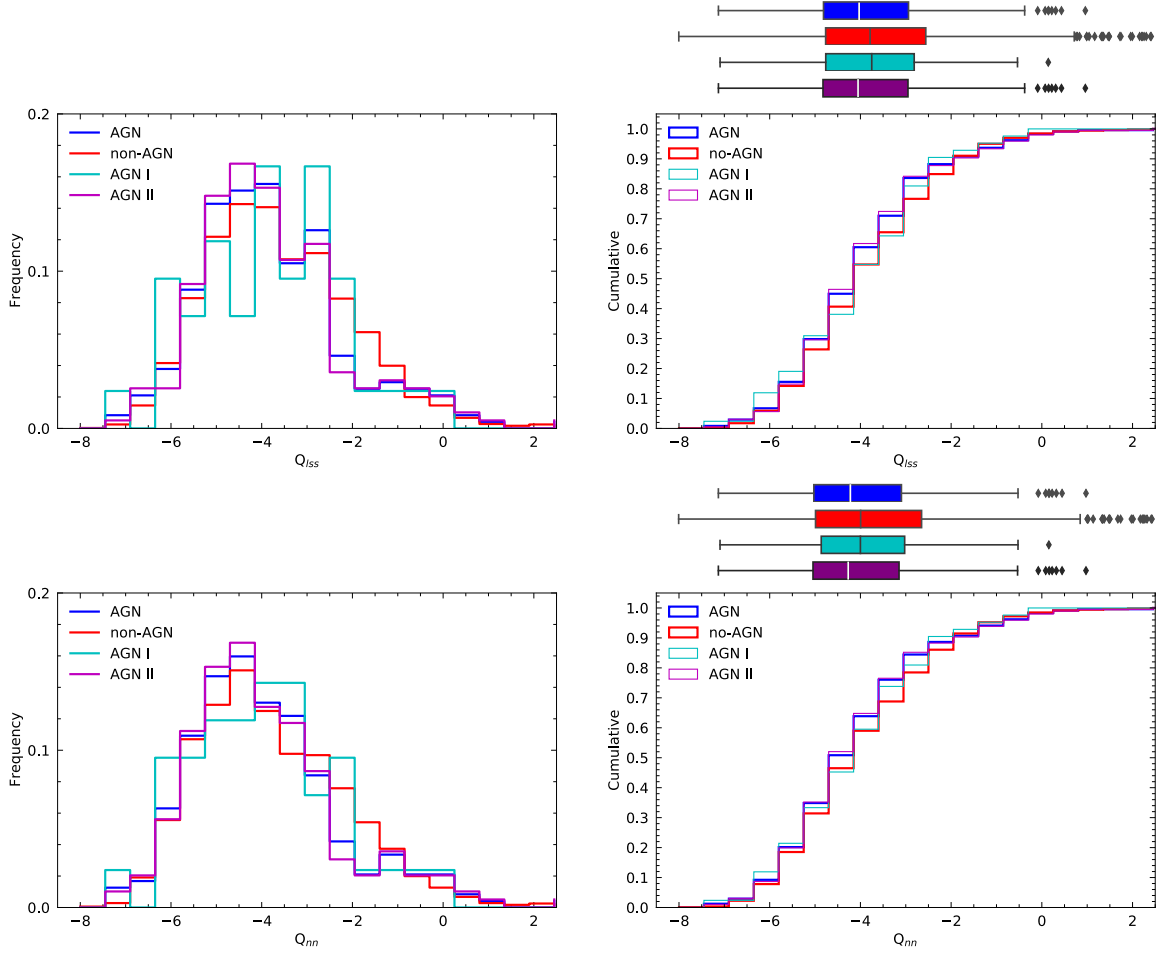


Figure 9. Left-hand panels: The frequency distributions of the environment indicators Q_{iss} (upper panels) and Q_{nn} (lower panels) for our type I (cyan), type II (purple), combined (type I+II; in blue) and non-AGN control MaNGA DR15 sample (red). Right-hand panels: The cumulative distributions of the same indicators. On top of the right columns the corresponding boxplots diagrams are also shown.

	Q1	Q2	Q3	IQR
Q_{iss}				
AGN I+II	-4.81	-4.03	-2.94	1.88
non-AGN	-4.77	-3.78	-2.56	2.21
AGN I	-4.76	-3.75	-2.85	1.90
AGN II	-4.83	-4.04	-2.95	1.88
Q_{nn}				
AGN I+II	-5.02	-4.23	-3.10	1.92
non-AGN	-4.99	-4.00	-2.66	2.34
AGN I	-4.83	-4.00	-3.05	1.78
AGN II	-5.06	-4.27	-3.15	1.91

Table 7. Quartil values for the boxplots shown in Figure 9

sample	KS-test p-value	T-test p-value
Q_{iss}		
non-AGN vs AGN I+II	0.11	0.12
non-AGN vs AGN I	0.83	0.51
non-AGN vs AGN II	0.16	0.16
AGN I vs AGN II	0.53	0.99
Q_{nn}		
non-AGN vs AGN I+II	0.06	0.14
non-AGN vs AGN I	0.78	0.57
non-AGN vs AGN II	0.1	0.17
AGN I vs AGN II	0.83	0.94

Table 8. KS- and T-test values for histograms shown in Figure 9.

(Marconi et al. 2004; Hopkins et al. 2009). A relevant question then is at what stage of the merger process is the possible triggering of the AGN most likely; this is something that depends on the parameters of the interaction and on the gas content of the interacting/merged galaxies, to mention some factors. As discussed in McElroy et al. (2022) and Chang et al. (2022, and more references therein), and related also to the merger stages in which AGN are most likely, the diversity of results on the AGN-merger connection may be associated to: (i) the galaxy samples used for the study (galaxy pairs in spectroscopic redshift surveys, optical images of morphologically disturbed galaxies, etc.), (ii) the diversity of predictors of interaction/merger, (iii) the type of observations (photometric, kinematic, etc.), and (iv) the type of merger (minor, major, other). Also, as discussed and shown in Ellison et al. (2019) and Gao et al. (2020, see also Ji & Giavalisco 2022), the selection criteria for AGN (e.g., mid IR color, X-ray, optical emission line ratios, radio) affects the results of studies on the AGN-merger connection, probably because the different AGN selection criteria may represent different merger stages (e.g., Sanders et al. 1988) and different types of AGN, especially different AGN luminosities.

In the present paper, we have studied the incidence of *major mergers* in an *optically-selected* AGN sample by using the automatic LDA method, which is based on quantifying *morpho-structural distortions in optical images*. This method allows us to identify a wide range of merging stages, from pre- to post-coalescence (see §§ 3.1.1), which can increase the incidence of identified major mergers in AGN hosts relative to other approaches sensitive only to a given merging stage. As shown in § 4.1, a major fraction of those AGN host galaxies identified as major mergers are in the post-coalescence stage (a factor of ~ 2 more than in the pre-coalescence stage), which suggests that the triggering of AGNs is more probable after the coalescence phase (see also Ellison et al. 2013). From an approach in the opposite direction, various studies of galaxy mergers at low redshift find a statistically significant enhanced AGN fractions. Carpineti et al. (2012) explored a subset of post-mergers, where a single remnant is in the final stages of relaxation after the merger, finding an important rising of the AGN fraction and suggesting that the AGN phase probably becomes dominant only in the very final stages of the merger process. Bickley et al. (2023) quantified the frequency of AGN in fully coalesced post-merger systems, and further compared this frequency to that in a sample of galaxy pairs. They find that AGN identified by narrow-line optical emission and mid-IR colour have an incidence rate in post-mergers with excesses of ~ 4 over control samples, also exceeding the values found for galaxy pairs, indicating that AGN activity in mergers peaks after coalescence. Furthermore, the [OIII] luminosity in post-mergers that host an optical AGN is ~ 0.3 dex higher on average than in non-interacting galaxies with an optical AGN, suggesting that mergers generate higher accretion rates than secular triggering mechanisms.

The identification of *major merger* morphological signatures in the present work is more sophisticated and detailed than some previous attempts using similar optical imaging. We have identified a fraction of major mergers going from 25% to 35% in the type II and type I AGN samples, respectively, with a value of $29\% \pm 3\%$ for the combined type (I+II) sample, compared to the value of $22\% \pm 0.8\%$ for the non-AGN control sample. This result shows evidence of a higher incidence of major mergers in AGN galaxies than in non-AGN ones, supporting the idea that an external mechanism through galaxy merging can trigger or enhance the AGN activity in low- z galaxies, but this mechanism appears not to be dominant.

5.1 Comparison with previous works

The higher incidence of major mergers found in our AGN sample with respect to the control non-AGN sample seems to be more significant than those reported in other studies with similar stellar masses, morphological content, and image quality (Darg et al. 2010; Ellison et al. 2011, 2013; Satyapal et al. 2014; Weston et al. 2017; Mantha et al. 2018; Thibert et al. 2021). However, note that these studies looked for the incidence of AGNs in merger galaxy samples, while we looked for the incidence of mergers in AGN (and non-AGN control) samples. As discussed in Ellison et al. (2019), the former studies are focused on exploring whether mergers can trigger AGN or not, providing an affirmative answer to this question at a statistical level, while the later studies focus on exploring the degree of importance of mergers on triggering AGNs. On the other hand, most of these works (i) used close galaxy pairs to select interacting galaxies, such that the incidence refers to the pre-coalescence and (early) post-coalescence phases, and (ii) identified merging features with only a few image predictors.

As mentioned above, the LDA method is able to detect a wide range of merging stages, from pre- to post-coalescence, dominating the latter. The method is more sensitive to identify merger signatures than these previous works with major merger observability timescales $> 2Gyr$ since it incorporates the strengths of various image predictors, and it takes into account implicitly different gas fractions. Related to the later, Lotz et al. (2011) found that asymmetry was detectable in timescales of < 300 Myr for $f_{gas} \sim 20\%$ increasing to about 1 Gyr for $f_{gas} \sim 50\%$. In such circumstances, gas-poor galaxies may have had recent mergers or interactions < 300 Myr ago but appear not identifiable as major mergers if only one image predictor is used.

The studies by Ellison et al. (2019) and Gao et al. (2020) are more similar to ours in that (i) they look for merger incidence in selected samples of AGN galaxies, and (ii) to identify mergers in their AGN and non-AGN samples they evaluate morphological distortions in optical images. Gao et al. (2020) use the SDSS DR7 (Abazajian et al. 2009) and GAMA (Liske et al. 2015) surveys, both optical BPT diagram and mid-IR color criteria to select AGNs, and a deep learning convolutional neural network (CNN) technique trained with visually identified merging galaxies within Galaxy Zoo (Lintott et al. 2008), GAMA-KiDS Galaxy Zoo (Holwerda et al. 2019), and also using the smoothness and asymmetry statistics (Conselice 2003). Gao et al. (2020) find that about 16% of the optical AGN hosts in the SDSS sample show evidence of mergers versus a fraction of 14% for the control non-AGN sample. If the GAMA survey is used instead, 39% of the optical AGN hosts show evidence of mergers versus a fraction of 28% for the control non-AGN sample. When they use the mid-IR criteria to select AGN, they find that about 23% of their host galaxies in the SDSS sample show evidence of mergers versus a fraction of 15% for the control non-AGN sample. While if the GAMA survey is used, 39% of the mid-IR AGN host galaxies show evidence of mergers versus a fraction of 28% for the control non-AGN sample. The differences between the SDSS and GAMA samples could be due to the deeper imaging of KiDS revealing subtle features, the higher redshift range in the GAMA sample, and/or differences in the training sample used in the CNN for each survey. The above shows a non-negligible to potentially moderate role of mergers in triggering AGNs, with the merger fraction increasing as stellar mass increases.

Ellison et al. (2019) identify AGN in a SDSS sample also using optical emission line diagnostics and mid-IR colours. For the merger characterization, they look for signs of morphological disturbance such as tails or shells and/or the presence of a perturbing companion. Those galaxies lacking any obvious morphological disturbance and

without companions are classified as isolated. The control non-AGN sample is gathered with galaxies that are matched in M_* and z . [Ellison et al. \(2019\)](#) find that 37% of optically selected AGN host galaxies show signs of visual disturbances or have close companions.⁵ In contrast, for the hosts of mid-IR selected AGNs, this fraction is 61%. Both mid-IR and optically selected AGN have interacting fractions that are a factor of two greater than the corresponding non-AGN control samples.

Summarizing, the results by [Gao et al. \(2020\)](#) (CNN method) for their GAMA sample and by [Ellison et al. \(2019\)](#) (visual evaluation) for their SDSS sample, show excess of merger galaxies in optical AGN hosts with respect to non-AGN galaxies, but the incidence of mergers on the AGN host samples are moderate as to conclude that they are the dominant mechanism of optically-selected AGN triggering, in qualitative agreement with our results. However, for the samples of obscured-AGN hosts, the incidence of mergers and close companions is more relevant, showing that obscured AGNs might be preferentially associated with merging triggering.

Other studies find higher fractions of mergers among their AGN samples, showing the importance of the image quality. [Hong et al. \(2015\)](#) used deep optical images from various telescopes finding that 17 of 39 luminous ($M_R < -22.6$ mag) type I AGN host galaxies (43.6%, compared with the fraction of $\approx 35\%$ found here) show evidence for current or past mergers in the form of tidal features and disturbed morphology. They find that the merging fraction could be even higher, after correcting for redshift effects, suggesting that for luminous AGNs, there is a much more likely association with mergers.

So far, we have shown that our AGN samples (although with moderate but still significant levels) are more frequently associated with mergers than the non-AGN control sample, suggesting a merger-AGN connection for our local samples. Furthermore, we have found that among the mergers identified in our AGN hosts, the more massive ones could trigger moderate levels of AGN activity (measured by [OIII] luminosities) up to 0.4 dex (2.5 \times) in type II AGN compared to non-merger AGNs, and up to 0.9 dex ($\sim 8\times$) in type I AGN (see §§ 4.5. These levels are comparable to those reported in [Ellison et al. \(2013\)](#) for paired galaxies at small separations and post-merger galaxies, when compared to their corresponding control samples.

5.2 What is the dominant mechanism of AGN triggering?

The results presented here, using the LDA method, show an statistical excess of $\approx 29\%$ of major merger signatures in our optical type (I+II) AGN sample with respect to the control non-AGN sample. This moderate excess shows that *major mergers can trigger AGN but that they are not the dominant mechanism*. Furthermore, we have estimated statistically that the major incidence of mergers in the AGN hosts is in the advanced (post-merger) phases ($51\% \pm 6\%$ of the cases). For our visual identification of bright tidal features, the fraction of AGN hosts with these signatures when using SDSS images is $\approx 30\%$ ($\approx 35\%$ when using DESI images), a factor of two higher than for the non-AGN galaxies. Once again, these statistical results confirm that the AGN phenomenon can be partially related to the merging activity but this does not appear to be the main channel of AGN triggering.

However, we were able to find some evidence of increased AGN power among our AGN hosts, but particularly in the most massive

ones with signatures of major mergers compared to those hosts without such signatures. The above is probably partially related to the different timescales involved in these processes. On one side, observations and simulations have shown that merging events drive important amounts of gas towards the central regions of galaxies causing a starburst and feeding the AGN with typical lifetimes up to 200–300 Myr ([Wild et al. 2010](#); [Di Matteo et al. 2005](#); [Schawinski et al. 2015](#)). Furthermore, detailed numerical simulations ([Hopkins et al. 2005](#)), show that the visibility timescales of the black hole activity could be even shorter. They predict a buried phase during the starburst, where the black hole is heavily obscured by the surrounding gas and dust, limiting its visibility at optical and ultraviolet wavelengths, showing that between the buried and ending phases of black hole activity, a galaxy would be seen as a luminous quasar, with short observable lifetimes, depending on waveband and luminosity threshold; typically 10 Myr for bright quasars in the optical B band. On the other side, the observability window for the LDA method translates into an identification of mergers in timescales of > 2 Gyr. Thus, the differences in timescales involved suggest that only a fraction of those AGN hosts with merger signatures could show evidence of enhanced levels of AGN activity at the current observation (e.g., [Villforth et al. 2014](#); [Shabala et al. 2017](#)), explaining the trends and scatter observed in both panels of Figure 7.

Our results show relatively modest probabilities that AGN triggering is due to major mergers. What about the contribution to AGN triggering by secular processes associated to bars? [Treister et al. \(2012\)](#) have found that the most luminous AGN phases are connected to major mergers, while the less luminous AGNs, appear to be driven by secular processes. We have found that $\approx 56\%$ of our type (I+II) AGN hosts with disks are barred, a fraction significantly larger than their major merger incidence of $29\% \pm 3\%$. Therefore, at least statistically, bars appear to be as a relevant mechanism of AGN triggering as major mergers. Notice, however, that for the corresponding control non-AGN sample, the bar fraction, $\approx 45\%$, is not too different to that of the AGN sample.

[Ellison et al. \(2016\)](#) have shown that while secular processes predominantly lead to moderate accretion rates and are not accompanied by an increase in SFR, galaxy-galaxy interactions lead to an increase in SFR, with more powerful and possibly obscured AGN. [Alonso et al. \(2018\)](#) used a SDSS sample to study the influence of strong bars on AGN, also comparing the effects of interactions on activity, finding that bars and interactions increase the AGN luminosity and accretion rate, but with bars having a greater efficiency in the process.

If bars are a relevant AGN triggering mechanism, why there so many barred galaxies with unobserved AGNs? As discussed in [Alonso et al. \(2018\)](#), the presence of a bar is not enough. Gas needs to be available to be funneled to the central regions where the presence of inner structures and dynamical resonances may also be of importance for this process. Whether AGN could be a recurrent phenomena, the funnelling of gas to the centre of the galaxy (10^8 yr) and the lifetime of bars ($\sim 10^{10}$ yr) are expected to be much longer than the timescale for AGN activity (10^7 yr) imposing severe restrictions for their occurrence.

6 CONCLUSIONS

We have considered an optically-selected sample of 47 type I and 236 type II AGN from the MaNGA DR15 ([Cortes-Suárez et al. 2022](#)) at redshifts $z < 0.15$ and took advantage of the Linear Discriminant Method presented in [Nevin et al. \(2019, 2023\)](#) to identify major mergers and merger stages using the SDSS images. To rein-

⁵ Compare this fraction to our 29% fraction using LDA or 31% using identification of tidal features in the SDSS images.

force our analysis we have used detailed morphological information coming from our post-processing to the SDSS and DESI Legacy images including the identification of bright tidal features (Vázquez-Mata et al. 2022). Along our study we built various control samples to study and compare global physical, morphological and environmental properties and the incidence of major mergers in our AGN samples. Major mergers were found as important promoters of the AGN activity, however, evidence is found that stellar bars are also playing an important role in the triggering of our AGN samples.

Our main results and conclusions are as follows.

- For the type I and II AGN hosts and the control non-AGN galaxies, we reported volume-corrected morphological types, stellar masses, and $(g - i)$ colors. The AGN hosts are mostly early type discs (Sa, Sb and very few Sc) with a small fraction of elliptical galaxies (12% and 13%, for type I and II AGN hosts respectively) but no types later than Sc. They typically inhabit earlier Sa types, compared to Sb types for non-AGN control galaxies. Their mass and color distributions are significantly concentrated toward more massive and redder colors than those of the non-AGN control sample.

- The LDA method has identified a fraction of major mergers going from 25% to 35% in our type II and type I AGN samples, respectively, with a value of $29\% \pm 3\%$ for the combined type (I+II) sample. The identification of major merger morphological signatures in the present work is more sophisticated and detailed than some previous attempts using similar optical imaging. There is a modest but statistically significant higher fraction of major mergers in our type (I+II) AGN sample, $29\% \pm 3\%$, compared to $22\% \pm 0.8\%$ for the non-AGN control sample (matched in stellar mass, morphology, color and redshift), supporting the idea that an external mechanism through galaxy merging can induce the observed AGN activity, but it is not the dominant mechanism. Following Nevin et al. (2023), we also have found a prevalence of post-coalescence ($51\% \pm 6\%$) over pre-coalescence ($26\% \pm 5\%$) stages in our identified major merger host galaxies.

- From our visual identification of bright (< 25 mag arcsec⁻²) tidal features in the AGN samples using the r -band SDSS images, we have found a fraction of $31\% \pm 3\%$ for the combined type (I+II) AGN sample. This is a factor of two higher incidence compared to that in the non-AGN control sample. Since the LDA method was not trained on the basis of tidal features, we confirmed that not all major mergers show evidence of tidal features nor all galaxies having tidal features were identified as major mergers.

We also investigate other triggering mechanisms for the AGN.

- More than half of our AGN hosts are barred ($56\% \pm 3\%$) for type II, and $56\% \pm 8\%$ for type I) in contrast to a fraction of $46\% \pm 1\%$ for the control sample. Even the few Sbc-Sc hosts are 75% barred. Therefore, bars can also be a (internal) mechanism of AGN trigger.

- The more massive type II major merger AGN hosts show an [OIII] luminosity enhancement up to 0.4 dex (2.5x) compared to the more massive type II non-merger AGN hosts, reaching about 0.9 dex (8x) in the more massive type I merger AGN, compared to the more massive type I non-merger AGN, these levels comparable to those reported in other works.

- The more massive type I and II AGN hosting stellar bars reach [OIII] enhancement levels comparable to those found in our identified major merger AGN, suggesting that the observed AGN activity could also be sustained by internal processes, promoted by bars.

- No significant differences were found between the AGN and non-AGN samples for the tidal strength parameter Q , estimated at group and on large (5 Mpc) scales. This suggests that our results on the incidence of major mergers on AGN hosts are not biased by the local and large-scale environment.

- A classification of the appearance of the central optical spectra in type I and II AGN hosts through the $H - H\beta$ indices can be used as an empirical predictor of the amount of contaminant flux coming from a central AGN source (see Appendix A) measured in optical images. This potential correlation could be useful to first order correct a series of photometric quantities like colors, absolute magnitudes and color-dependent stellar masses in large AGN samples emerging from surveys.

Various automated methods have been proposed to identify mergers from image surveys, all making significant contributions to the knowledge of mergers but also having some limitations. The LDA method implemented by Nevin et al. (2019, 2023) allowed us to identify a modest but statistically significant higher incidence of major mergers in our AGN samples when compared to properly matched control samples. This is a powerful method that represents an important improvement towards the identification of mergers and merger stages under a wide variety of conditions for galaxies in the local Universe, taking full advantage of the limitations of single imaging. It would be desirable to calibrate the LDA method with imaging coming from deeper surveys.

ACKNOWLEDGEMENTS

ECS acknowledges the fellowship 825458 from CONACyT. JAVM acknowledges financial support from CONACyT grant 252531. HMHT acknowledges support from PAPIIT/UNAM grant IG101222. CAN thanks support from DGAPA-UNAM grant IN111422 and CONACyT project Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022-320020.

DATA AVAILABILITY

The data underlying this article are available at the MaNGA-Pipe3D Valued Added Catalog at <https://www.sdss.org/dr17/manga/manga-data/manga-pipe3d-value-added-catalog/> and http://ifs.astroscu.unam.mx/MaNGA/Pipe3D_v3_1_1/tables/. The datasets were derived from sources in the public domain using the SDSS-IV MaNGA public Data Release 15 at <https://www.sdss.org/dr15/>, the NASA-Sloan Atlas (NSA) catalog at <http://www.nsatlas.org/>, and the DESI Legacy Survey at <https://www.legacysurvey.org/>.

REFERENCES

- Abazajian K. N., et al., 2009, *ApJS*, 182, 543
 Abdurro'uf et al., 2022, *ApJS*, 259, 35
 Abraham R. G., van den Bergh S., Nair P., 2003, *ApJ*, 588, 218
 Aguado D. S., et al., 2019, *ApJS*, 240, 23
 Aguerri J. A. L., Méndez-Abreu J., Corsini E. M., 2009, *A&A*, 495, 491
 Alonso S., Coldwell G., Duplancic F., Mesa V., Lambas D. G., 2018, *A&A*, 618, A149
 Aquino-Ortiz E., et al., 2020, *ApJ*, 900, 109
 Aragón-Calvo M. A., Jones B. J. T., van de Weygaert R., van der Hulst J. M., 2007, *A&A*, 474, 315
 Argudo-Fernández M., et al., 2015, *A&A*, 578, A110
 Barrera-Ballesteros J. K., et al., 2015, *A&A*, 582, A21
 Bickley R. W., et al., 2021, *MNRAS*, 504, 372
 Bickley R. W., Ellison S. L., Patton D. R., Wilkinson S., 2023, *MNRAS*, 519, 6149
 Binney J., Tremaine S., 1987, Galactic dynamics

- Blanton M. R., Kazin E., Muna D., Weaver B. A., Price-Whelan A., 2011, *AJ*, **142**, 31
- Blanton M. R., et al., 2017, *AJ*, **154**, 28
- Bournaud F., 2016, in Laurikainen E., Peletier R., Gadotti D., eds, *Astrophysics and Space Science Library* Vol. 418, Galactic Bulges. p. 355 ([arXiv:1503.07660](https://arxiv.org/abs/1503.07660)), doi:10.1007/978-3-319-19378-6_13
- Bruce V. A., Dunlop J. S., Mortlock A., Kocevski D. D., McGrath E. J., Rosario D. J., 2016, *MNRAS*, **458**, 2391
- Bundy K., et al., 2015, *ApJ*, **798**, 7
- Byrne-Mamahit S., Hani M. H., Ellison S. L., Quai S., Patton D. R., 2023, *MNRAS*, **519**, 4966
- Calzetti D., Armus L., Bohlin R. C., Kinney A. L., Koornneef J., Storchi-Bergmann T., 2000, *ApJ*, **533**, 682
- Cano-Díaz M., et al., 2016, *ApJ*, **821**, L26
- Cano-Díaz M., Ávila-Reese V., Sánchez S. F., Hernández-Toledo H. M., Rodríguez-Puebla A., Boquien M., Ibarra-Medel H., 2019, *MNRAS*, **488**, 3929
- Capelo P. R., Dotti M., Volonteri M., Mayer L., Bellovary J. M., Shen S., 2017, *MNRAS*, **469**, 4437
- Carpinetti A., Kaviraj S., Darg D., Lintott C., Schawinski K., Shabala S., 2012, *MNRAS*, **420**, 2139
- Cavanagh M. K., Bekki K., 2020, *A&A*, **641**, A77
- Chang Y.-Y., Lin L., Pan H.-A., Lin C.-A., Hsieh B.-C., Bottrell C., Wang P.-W., 2022, *arXiv e-prints*, p. [arXiv:2208.11132](https://arxiv.org/abs/2208.11132)
- Cisternas M., et al., 2011, *ApJ*, **726**, 57
- Comerford J. M., et al., 2020, *ApJ*, **901**, 159
- Comerford J. M., Negus J., Barrows R. S., Wylezalek D., Greene J. E., Müller-Sánchez F., Nevin R., 2022, *ApJ*, **927**, 23
- Conselice C. J., 2003, *ApJS*, **147**, 1
- Conselice C. J., Bershady M. A., Jangren A., 2000, *ApJ*, **529**, 886
- Cortes-Suárez E., Negrete C. A., Hernández-Toledo H. M., Ibarra-Medel H., Lacerna I., 2022, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*
- Cortijo-Ferrero C., et al., 2017a, *MNRAS*, **467**, 3898
- Cortijo-Ferrero C., et al., 2017b, *A&A*, **606**, A95
- Cortijo-Ferrero C., et al., 2017c, *A&A*, **607**, A70
- Daddi E., et al., 2007, *ApJ*, **670**, 156
- Darg D. W., et al., 2010, *MNRAS*, **401**, 1552
- Dey A., et al., 2019, *AJ*, **157**, 168
- Di Matteo T., Springel V., Hernquist L., 2005, *Nature*, **433**, 604
- Dragomir R., Rodríguez-Puebla A., Primack J. R., Lee C. T., 2018, *MNRAS*, **476**, 741
- Ellison S. L., Patton D. R., Simard L., McConnachie A. W., 2008, *AJ*, **135**, 1877
- Ellison S. L., Patton D. R., Mendel J. T., Scudder J. M., 2011, *MNRAS*, **418**, 2043
- Ellison S. L., Mendel J. T., Patton D. R., Scudder J. M., 2013, *MNRAS*, **435**, 3627
- Ellison S. L., Teimoorinia H., Rosario D. J., Mendel J. T., 2016, *MNRAS*, **455**, 370
- Ellison S. L., Viswanathan A., Patton D. R., Bottrell C., McConnachie A. W., Gwyn S., Cuillandre J.-C., 2019, *MNRAS*, **487**, 2491
- Gabor J. M., Davé R., 2009, in Heinz S., Wilcots E., eds, *American Institute of Physics Conference Series* Vol. 1201, The Monster's Fiery Breath: Feedback in Galaxies, Groups, and Clusters. pp 84–87 ([arXiv:0909.1573](https://arxiv.org/abs/0909.1573)), doi:10.1063/1.3293093
- Gao F., et al., 2020, *A&A*, **637**, A94
- Geda R., Crawford S. M., Hunt L., Bershady M., Tollerud E., Randriamampandry S., 2022, *AJ*, **163**, 202
- Getachew-Woreta T., Pović M., Masegosa J., Perea J., Beyoro-Amado Z., Márquez I., 2022, *MNRAS*, **514**, 607
- Giese N., van der Hulst T., Serra P., Oosterloo T., 2016, *MNRAS*, **461**, 1656
- González Delgado R. M., et al., 2017, *A&A*, **607**, A128
- Grogin N. A., et al., 2015, in IAU General Assembly. p. 2258076
- Hani M. H., Gosain H., Ellison S. L., Patton D. R., Torrey P., 2020, *MNRAS*, **493**, 3716
- Heckman T. M., Best P. N., 2014, *ARA&A*, **52**, 589
- Hewlett T., Villforth C., Wild V., Mendez-Abreu J., Pawlik M., Rowlands K., 2017, *MNRAS*, **470**, 755
- Ho L. C., 2009, *ApJ*, **699**, 626
- Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 1997, in Peterson B. M., Cheng F.-Z., Wilson A. S., eds, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series* Vol. 113, IAU Colloq. 159: Emission Lines in Active Galaxies: New Methods and Techniques. p. 429 ([arXiv:astro-ph/9607118](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9607118))
- Holwerda B. W., et al., 2019, *AJ*, **158**, 103
- Hong J., Im M., Kim M., Ho L. C., 2015, *ApJ*, **804**, 34
- Hopkins P. F., Hernquist L., Cox T. J., Di Matteo T., Martini P., Robertson B., Springel V., 2005, *ApJ*, **630**, 705
- Hopkins P. F., Richards G. T., Hernquist L., 2007, *ApJ*, **654**, 731
- Hopkins P. F., Bundy K., Murray N., Quataert E., Lauer T. R., Ma C.-P., 2009, *MNRAS*, **398**, 898
- Ibarra-Medel H. J., et al., 2016, *MNRAS*, **463**, 2799
- Ibarra-Medel H., Avila-Reese V., Lacerna I., Rodríguez-Puebla A., Vázquez-Mata J. A., Hernández-Toledo H. M., Sánchez S. F., 2022, *MNRAS*, **510**, 5676
- Ji Z., Gialvalisco M., 2022, *ApJ*, **935**, 120
- Jin G., et al., 2021, *ApJ*, **923**, 6
- Jogee S., et al., 2009, *ApJ*, **697**, 1971
- Kauffmann G., et al., 2003, *MNRAS*, **346**, 1055
- Kaviraj S., 2010, *MNRAS*, **406**, 382
- Kaviraj S., 2014, *MNRAS*, **437**, L41
- Kewley L. J., Dopita M. A., Sutherland R. S., Heisler C. A., Trevena J., 2001, *ApJ*, **556**, 121
- Kewley L. J., Groves B., Kauffmann G., Heckman T., 2006, *MNRAS*, **372**, 961
- Kim D., Im M., 2013, *ApJ*, **766**, 109
- Kim M., Ho L. C., Peng C. Y., Barth A. J., Im M., 2017, *ApJS*, **232**, 21
- Kim M., Barth A. J., Ho L. C., Son S., 2021, *ApJS*, **256**, 40
- Kocevski D. D., et al., 2012, *ApJ*, **744**, 148
- Koss M., Mushotzky R., Treister E., Veilleux S., Vasudevan R., Trippe M., 2012, *ApJ*, **746**, L22
- Lamastra A., Bianchi S., Matt G., Perola G. C., Barcons X., Carrera F. J., 2009, *A&A*, **504**, 73
- Law D. R., et al., 2016, *AJ*, **152**, 83
- Law D. R., et al., 2021, *AJ*, **161**, 52
- Lintott C. J., et al., 2008, *MNRAS*, **389**, 1179
- Liske J., et al., 2015, *MNRAS*, **452**, 2087
- Liu H.-Y., Liu W.-J., Dong X.-B., Zhou H., Wang T., Lu H., Yuan W., 2019, *ApJS*, **243**, 21
- Lotz J. M., Primack J., Madau P., 2004, *AJ*, **128**, 163
- Lotz J. M., et al., 2008, *ApJ*, **672**, 177
- Lotz J. M., Jonsson P., Cox T. J., Croton D., Primack J. R., Somerville R. S., Stewart K., 2011, *ApJ*, **742**, 103
- Mancillas B., Duc P.-A., Combes F., Bournaud F., Emsellem E., Martig M., Michel-Dansac L., 2019, *A&A*, **632**, A122
- Mantha K. B., et al., 2018, *MNRAS*, **475**, 1549
- Marconi A., Risaliti G., Gilli R., Hunt L. K., Maiolino R., Salvati M., 2004, *MNRAS*, **351**, 169
- McElroy R., et al., 2022, *MNRAS*, **515**, 3406
- Mihos J. C., Hernquist L., 1994, *ApJ*, **425**, L13
- Mihos J. C., Hernquist L., 1996, *ApJ*, **464**, 641
- Moetazedian R., Polyachenko E. V., Berzick P., Just A., 2017, *A&A*, **604**, A75
- Moreno J., Torrey P., Ellison S. L., Patton D. R., Bluck A. F. L., Bansal G., Hernquist L., 2015, *MNRAS*, **448**, 1107
- Muldrew S. I., et al., 2012, *MNRAS*, **419**, 2670
- Nevin R., Blecha L., Comerford J., Greene J., 2019, *ApJ*, **872**, 76
- Nevin R., Blecha L., Comerford J., Simon J., Terrazas B. A., Barrows R. S., Vázquez-Mata J. A., 2023, *arXiv e-prints*, p. [arXiv:2303.06249](https://arxiv.org/abs/2303.06249)
- Noeske K. G., et al., 2007, *ApJ*, **660**, L43
- Oh K., Yi S. K., Schawinski K., Koss M., Trakhtenbrot B., Soto K., 2015, *ApJS*, **219**, 1
- Pan H.-A., et al., 2019, *ApJ*, **881**, 119
- Park C., Choi Y.-Y., 2009, *ApJ*, **691**, 1828
- Patton D. R., Ellison S. L., Simard L., McConnachie A. W., Mendel J. T., 2011, *MNRAS*, **412**, 591

Pawlik M. M., Wild V., Walcher C. J., Johansson P. H., Villforth C., Rowlands K., Mendez-Abreu J., Hewlett T., 2016, *MNRAS*, **456**, 3032

Peirani S., Hammer F., Flores H., Yang Y., Athanassoula E., 2009, *A&A*, **496**, 51

Peng C. Y., Ho L. C., Impey C. D., Rix H.-W., 2002, *AJ*, **124**, 266

Peng C. Y., Ho L. C., Impey C. D., Rix H.-W., 2010, *AJ*, **139**, 2097

Reines A. E., Volonteri M., 2015, *ApJ*, **813**, 82

Rembold S. B., et al., 2017, *MNRAS*, **472**, 4382

Rodríguez-Gomez V., et al., 2019, *MNRAS*, **483**, 4140

Rodríguez-Puebla A., Calette A. R., Avila-Reese V., Rodríguez-Gomez V., Huertas-Company M., 2020, *Publ. Astron. Soc. Australia*, **37**, e024

Rosario D. J., et al., 2015, *A&A*, **573**, A85

Sabater J., Best P. N., Argudo-Fernández M., 2013, *MNRAS*, **430**, 638

Sabater J., Best P. N., Heckman T. M., 2015, *MNRAS*, **447**, 110

Salim S., Boquien M., Lee J. C., 2018, *ApJ*, **859**, 11

Sánchez S. F., 2020, *ARA&A*, **58**, 99

Sánchez S. F., et al., 2016, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, **52**, 21

Sánchez S. F., et al., 2018, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, **54**, 217

Sánchez S. F., et al., 2022, arXiv e-prints, p. arXiv:2206.07062

Sanders D. B., Soifer B. T., Elias J. H., Madore B. F., Matthews K., Neugebauer G., Scoville N. Z., 1988, *ApJ*, **325**, 74

Satyapal S., Ellison S. L., McAlpine W., Hickox R. C., Patton D. R., Mendel J. T., 2014, *MNRAS*, **441**, 1297

Schawinski K., Simmons B. D., Urry C. M., Treister E., Glikman E., 2012, *MNRAS*, **425**, L61

Schawinski K., Koss M., Berney S., Sartori L. F., 2015, *MNRAS*, **451**, 2517

Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, *ApJ*, **500**, 525

Scudder J. M., Ellison S. L., Torrey P., Patton D. R., Mendel J. T., 2012, *MNRAS*, **426**, 549

Sérsic J. L., 1963, *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina*, **6**, 41

Shabala S. S., Deller A., Kaviraj S., Middelberg E., Turner R. J., Ting Y. S., Allison J. R., Davis T. A., 2017, *MNRAS*, **464**, 4706

Sheen Y.-K., Yi S. K., Ree C. H., Lee J., 2012, *ApJS*, **202**, 8

Simmons B. D., et al., 2013, *MNRAS*, **429**, 2199

Springel V., Di Matteo T., Hernquist L., 2005, *MNRAS*, **361**, 776

Steffen J. L., et al., 2023, *ApJ*, **942**, 107

Stern J., Laor A., 2012, *MNRAS*, **423**, 600

Stoughton C., et al., 2002, *AJ*, **123**, 485

Tal T., van Dokkum P. G., Nelan J., Bezanson R., 2009, *AJ*, **138**, 1417

Taylor E. N., et al., 2011, *MNRAS*, **418**, 1587

Thibert N., Sawicki M., Goulding A., Arnouts S., Coupon J., Gwyn S., 2021, *Research Notes of the American Astronomical Society*, **5**, 144

Thorp M., 2019, in *Linking Galaxies from the Epoch of Initial Star Formation to Today*. p. 23, doi:10.5281/zenodo.2635245

Thorp M. D., Bluck A. F. L., Ellison S. L., Maiolino R., Conselice C. J., Hani M. H., Bottrell C., 2021, *MNRAS*, **507**, 886

Treister E., Schawinski K., Urry C. M., Simmons B. D., 2012, *ApJ*, **758**, L39

Van Wassenhove S., Volonteri M., Mayer L., Dotti M., Bellovary J., Callegari S., 2012, *ApJ*, **748**, L7

Vázquez-Mata J. A., et al., 2022, *MNRAS*, **512**, 2222

Villforth C., et al., 2014, *MNRAS*, **439**, 3342

Villforth C., et al., 2017, in *Galaxy Evolution Across Time*. p. 9, doi:10.5281/zenodo.805915

Wake D. A., et al., 2017, *AJ*, **154**, 86

Weston M. E., McIntosh D. H., Brodwin M., Mann J., Cooper A., McConnell A., Nielsen J. L., 2017, *MNRAS*, **464**, 3882

Wild V., Heckman T., Charlot S., 2010, *MNRAS*, **405**, 933

Wylezalek D., Zakamska N. L., Greene J. E., Riffel R. A., Drory N., Andrews B. H., Merloni A., Thomas D., 2018, *MNRAS*, **474**, 1499

Wylezalek D., Flores A. M., Zakamska N. L., Greene J. E., Riffel R. A., 2020, *MNRAS*, **492**, 4680

Yan R., et al., 2016a, *AJ*, **151**, 8

Yan R., et al., 2016b, *AJ*, **152**, 197

Yang X., Mo H. J., van den Bosch F. C., Pasquali A., Li C., Barden M., 2007, *ApJ*, **671**, 153

York D. G., et al., 2000, *AJ*, **120**, 1579

van Dokkum P. G., 2005, *AJ*, **130**, 2647

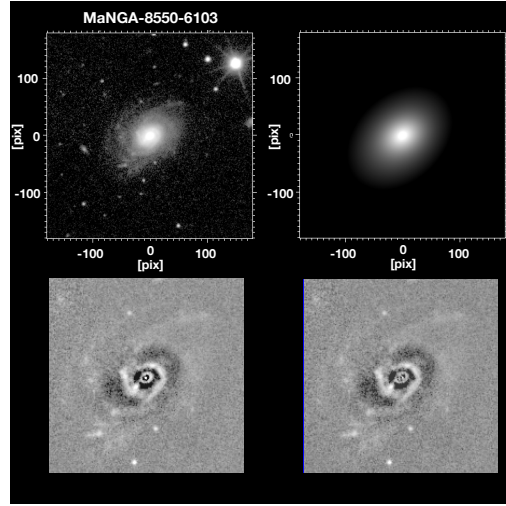


Figure A1. 2D decomposition of MANGA 1-211103. Top left panel is the r -band SDSS image of the galaxy, top right is the best 2D model of the galaxy, bottom left and right are zooms of the residual images before and after the nuclear source subtraction.

APPENDIX A: THE FLUX CONTAMINATION FROM A NUCLEAR SOURCE AND ITS IMPACT ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF GALAXIES HOSTING AGNS

In this Appendix we summarize our procedures to estimate the contaminant flux coming from a central AGN source after a 2D bulge/disk/bar/point-source decomposition of the r -band SDSS images of type I and type II AGN hosts using Galfit (Peng et al. 2002, 2010). To that purpose, point source function (PSF) images, masking images and pixel noise maps were generated for each galaxy. In a first step, we used as priors the results of our 1D fits from the STSDAS isophotal analysis of the Image Reduction and Analysis Facility (IRAF). Then, the Sérsic index (n), axial ratio, and position angle were used to model a 2D generalized Sérsic bulge and an exponential disk. In a second step, a higher order decomposition was carried out by simultaneously fitting in addition of the bulge and disk, either a Ferrers (Binney & Tremaine 1987) or a Sérsic (Geda et al. 2022) model when a bar is present.

At this stage, a careful inspection of the residual images after subtracting our best 2D model was carried out to verify for the presence of a residual flux component in the nuclear region. Then in a final step, a simultaneous fitting including a PSF, or Gaussian model is carried out. The integral flux from the model Gaussian or psf functions were interpreted as the contaminant flux coming from the central AGN source that can be used to correct colors, absolute magnitudes and color dependent stellar masses. Figure A1 illustrates our procedures in the case of the galaxy MaNGA 1-211103 (8550-6103).

The residual images after our 2D decomposition, in combination with the residual images from the DESI survey catalogs and our filter-enhanced images, are very useful to provide additional evidence of inner structures like bars and outer structures like faint arms, outer rings or pseudo-rings and tidal features (see also Figure 4).

Figure A2 shows the distribution of the flux contribution fraction coming from a central point source (p-s) in terms of the total flux of a host galaxy, f_{p-s}/f_{tot} , detected in 34 out of 47 type I AGN

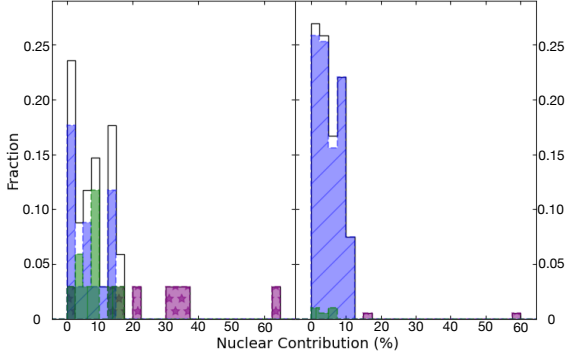


Figure A2. The distribution of the estimated point-source (p-s) flux contribution fraction (f_{p-s}/f_{tot}) coming from the nuclear AGN source in our type I AGN (left panel) and type II AGN (right panel) samples after a 2D bulge/disk/bar/point-source decomposition to the SDSS images in the r -band. Bar histograms are color-coded according to a classification of the central optical spectra in our sample galaxies (Cortes-Suárez et al. 2022); purple for galaxies having AGN-dominated spectra, green for galaxies having intermediate spectra and blue for galaxies having host-dominated spectra.

(left panel) and 150 out 236 type II AGN hosts (right panel). The histograms are color-coded according to a classification of the central (2.5-3 arcsec aperture) optical spectra as AGN-dominated spectra (purple), intermediate type spectra (green) and host-dominated spectra (blue) presented in Cortes-Suárez et al. (2022) for type I AGN and estimated in this work for type II AGN hosts.

The histograms of Figure A2 show that p-s nuclear contaminant fluxes higher than 20% come only from type I and II AGN host showing central AGN-dominated spectra. In contrast, these fluxes do not exceed 20% in the case of AGN hosts showing central spectra of the intermediate and host-dominated types.

Cortes-Suárez et al. (2022) classified the central integrated spectra of type I AGN hosts in the MaNGA survey according to a CaII H and $H\beta$ indexes diagram to quantify their appearance in terms of the dominant features (host or AGN features) in the optical spectra, yielding a classification in terms of AGN-dominated, intermediate and host-dominated spectra. The dashed blue and red lines in Figure A3 are the limit regions that best separate the H- $H\beta$ index classification of the optical spectra. The corresponding results for type II AGN hosts are also presented.

Figure A2 and Figure A3 suggest that a potential correlation could exist between a measure of the appearance of the central optical spectra (H-indices) and the amount of contaminant central flux (f_{p-s}/f_{tot}) measured in the r -band images after a 2D image decomposition. The AGN hosts with host-dominated or intermediate-type central spectra always have a central contaminant flux ($< 20\%$). Only the few cases of AGN hosts with central AGN-dominated spectra show a higher ($> 20\%$) central contaminant flux.

A classification of the optical central spectra by using the H-indices diagram thus could be used as an empirical predictor of the amount of contaminant flux coming from a central AGN source measured in optical r -band images. Though higher numbers are desirable for a more robust analysis also in terms of different optical wavelengths, this potential correlation could be useful as a first order correction for photometric quantities like colors, absolute magnitudes and color-dependent stellar masses of large AGN samples emerging from surveys.

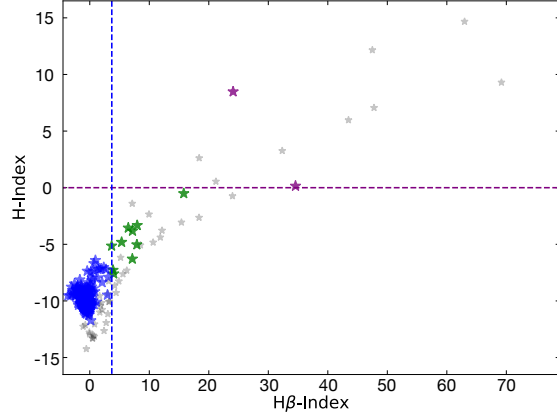


Figure A3. $H\beta$ -H-Index diagram. The dashed lines indicate the limit regions occupied by the AGN hosts according to the measured indices in their central integrated spectra (see Cortes-Suárez et al. 2022). Blue stars are for host-dominated, green stars for intermediate, and purple for AGN-dominated spectra in type II AGN. Similarly, grey stars are for the type I AGN sample.

A1 Total Corrected Stellar Mass Estimates

To estimate the total stellar masses for our type I and II sample hosts, we retrieved extinction-corrected total (Sérsic) magnitudes and $(g-i)$ colors for each galaxy coming from the NSA catalog (Blanton et al. 2011). The corresponding magnitudes are then corrected for the presence of the nuclear contaminant flux by using the estimated r -band p-s flux contributions in type I and type II AGN hosts. These flux contributions were assumed as similar in the r and i bands to further proceed with an estimate of a decontaminated i -band absolute magnitude M_i for each galaxy. The $(g-i)$ colors come from Sérsic magnitudes in the NSA, which were K-corrected to $z = 0.0$, corrected by galactic extinction following Schlegel et al. (1998), and by the evolution factor $E(z)$ following Dragomir et al. (2018). An additional internal extinction correction was considered coming from Salim et al. (2018).

The total stellar masses, (M_*), are then estimated by adopting the expression in Taylor et al. (2011):

$$\log(M_*/M_\odot) = 1.15 + 0.70(g-i) + 0.40M_i \quad (\text{A1})$$

where M_i is the flux-corrected corrected i -band absolute magnitude of a galaxy. Absolute magnitude for our galaxies were estimated by adopting $h=0.7$. These corrected masses thus estimated are then used all along the present paper. However, notice that these corrections do not change the main results and interpretations emerging from our analysis.

Recently, Getachew-Woreta et al. (2022) quantified how the contribution of a bright nuclear (AGN) point source of different intensity could affect the values of the most commonly used non-parametric image predictors at $z \sim 0$, finding that (i) light concentration parameters (e.g., Abraham Concentration, Gini, M_{20} , and Conselice Concentration) are less affected by AGN in early-type galaxies than in late-type galaxies and that (ii) the Gini/Asym - Abraham Concentration and Conselice Concentration - M_{20} diagrams are the most stable for classifying both early and late-type AGN hosts for intensities not higher than 10% - 25% of AGN contribution to the total optical light.

Figure A2 shows that the vast majority of the detected point sources

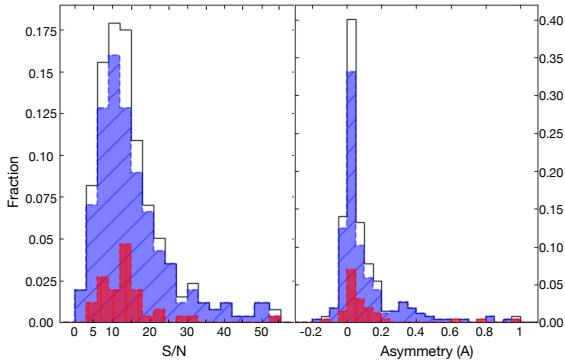


Figure B1. S/N distribution (left panel) and Asymmetry distribution (right panel) for type 1 AGN (red) and type 2 AGN (blue) samples.

in our AGN samples have intensity contribution levels lower than 20% implying a non-important effect of the AGN presence in our estimates of the image predictors presented in §§ 3.2.

APPENDIX B: IMAGE PREDICTORS

In this Appendix we present our image predictor estimates in Table B1 and Table B2 and review our estimates of the asymmetry parameter looking for anomalous cases that could affect the LDA predictions.

Part of the ability of the method proposed by Nevin et al. (2019) to identify mergers relies on a correct estimate of the image predictors, particularly of the asymmetry parameter. Conselice et al. (2000) have shown that the choice of an appropriate center of rotation is an important factor to take into account. In this regard in the present work the center of rotation is measured through an iterative process that finds the minimum asymmetry following Conselice et al. (2000) and Lotz et al. (2008).

Other important factors that could alter the measured asymmetry and also of clumpiness predictors are the presence of a significant nonzero background level and lower S/N ratios.

Nevin et al. (2019) experimented with their simulated images to delimit the range surface brightness that can return a consistent merger classifications, finding that it is closely tied to the behavior of the imaging predictors, which are sensitive to resolution and average S/N per pixel ($\langle S/N \rangle$). Lotz et al. (2004) found that the Gini, M20, C, A, and S image predictors are reliable to 10% for $\langle S/N \rangle > 2$ decreasing systematically with $\langle S/N \rangle$ below this level. Nevin et al. (2019) implemented a $\langle S/N \rangle$ cutoff of 2.5 (for all pixels within a segmentation map) to avoid that the imaging predictors, particularly A and S, become unreliable or could decrease to negative values below this threshold.

The left panel of Figure B1 shows the distribution of mean $\langle S/N \rangle$ ratios above which the image predictors were estimated in our type I and II AGN samples. In addition, the right panel shows the distribution of asymmetry values. The incidence of $\langle S/N \rangle \leq 2.5$ values is less than $\sim 2\%$ for the combined type I and II AGN samples thus making the choice of $\langle S/N \rangle \geq 2.5$ threshold an appropriate cutoff for a correct estimate of the image predictors in our samples.

In practice the asymmetry predictor, A, uses a correction factor (e.g., Conselice et al. 2000) from a background image. Notice however that the background sky levels can vary across and between the

frames, leading in some cases to overcorrections in the asymmetry values and thus yielding negative values (e.g., Lotz et al. 2004; Giese et al. 2016; Thorp et al. 2021).

The right panel of Figure B1 shows that the incidence of negative asymmetry values $A < 0$ in our combined type I and II AGN samples is 14% (10% having only slightly negative values $-0.05 < A < 0$ and 4% having a strong over-correction $A > -0.05$). We have verified the impact of those negative values on our results, finding 5 galaxies with negative asymmetry values in the type I AGN sample, but only one, 1-52660, classified as major merger (see Table B1). In the type II AGN sample, there are 40 galaxies with negative asymmetry values, but only two 1-277257 and 1-314700 classified as major mergers (see Table B2). These galaxies have been omitted from the merger fraction analysis (Section 4.1). However, their omission do not produce significant changes in our final results.

The reader may find useful to take into account the flagging codes in the last two columns of Table B1 and Table B2 indicating the $\langle S/N \rangle$ ratios above which the image predictors were estimated as well as the negative asymmetry values (flag = 1).

This paper has been typeset from a $\text{\TeX}/\text{\LaTeX}$ file prepared by the author.

MANGAID (1)	Gini (2)	M ₂₀ (3)	Concentration (C) (4)	Asymmetry (A) (5)	Clumpiness (S) (6)	Sersic (n) (7)	Shape Asymmetry (A _S) (8)	S/N (9)	Negative A (10)
1-113712	0.7364	-0.6968	3.3776	0.7714	0.2791	0.8846	0.3762	6.5	0
1-180204	0.4621	-1.2940	2.3800	0.1105	0.0368	0.4337	0.1315	8.7	0
1-113405	0.4959	-1.0232	1.9382	0.9645	0.0000	0.9606	0.9071	183.4	0
1-596598	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-24092	0.5496	-1.7590	2.8795	0.0510	0.0000	1.4835	0.6206	87.2	0
1-24148	0.5239	-2.0122	3.4040	0.0170	0.0298	0.7034	0.1004	32.7	0
1-548024	0.6229	-2.3949	4.2029	0.0920	0.0172	1.9383	0.3602	5.1	0
1-43214	0.5319	-1.6577	2.6976	0.0660	0.0000	1.4200	0.5901	114.7	0
1-121075	0.5975	-2.0788	3.8073	0.0056	0.0071	1.6886	0.2522	15.4	0
1-52660	0.5937	-2.3476	4.2695	-0.1284	-0.1833	1.8635	0.6064	3.1	1
1-460812	0.9352	-2.0906	3.6974	0.0815	0.0123	1.2318	0.1256	23.4	0
1-523004	0.4964	-1.0691	3.1412	0.1069	0.0422	0.6471	0.1689	15.0	0
1-235576	0.5927	-2.2961	4.1975	0.0572	0.0060	1.1765	0.1101	13.1	0
1-620993	0.5014	-1.7753	2.9202	0.1525	0.0332	0.6023	0.0601	14.6	0
1-418023	0.5234	-1.8563	3.0080	0.0151	0.0565	1.2239	0.0549	52.7	0
1-256832	0.6238	-1.6832	3.8581	0.1790	0.0323	1.9085	0.1733	12.2	0
1-593159	0.6103	-2.4581	4.1821	0.0464	0.0176	2.1388	0.1036	11.4	0
1-210017	0.5324	-2.1717	3.9716	0.1179	0.0218	1.2150	0.4347	12.2	0
1-90242	0.4971	-1.6246	2.7102	0.0511	0.0000	2.6333	0.0947	303.3	0
1-90231	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-594493	0.5349	-1.4296	3.0495	0.2143	0.0016	2.5344	0.0490	13.1	0
1-95585	0.5230	-2.1264	3.2352	0.0439	0.0069	0.8587	0.4448	7.7	0
1-550901	0.6339	-0.7709	4.0144	0.1937	0.0671	1.6806	0.3342	15.2	0
1-71974	0.6214	-2.8594	5.4145	0.1014	0.0019	2.0906	0.1908	7.4	0
1-604860	0.6037	-2.3170	4.1363	-0.0173	0.0014	1.9112	0.1124	14.6	1
1-44303	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-574519	0.5750	-2.1095	3.5669	0.0148	0.0136	1.3262	0.0942	9.2	0
1-163966	0.6208	-2.4118	4.1332	0.0339	0.0153	1.3991	0.0589	16.7	0
1-94604	0.5488	-2.1584	3.6349	0.0093	-0.0020	1.3831	0.0869	13.7	0
1-423024	0.5178	-1.9870	3.0941	0.0428	0.0069	0.9810	0.0736	13.9	0
1-174631	0.5503	-2.1929	3.8326	0.0477	0.0110	1.6338	0.1069	10.4	0
1-149561	0.5562	-2.0755	3.4164	-0.0168	0.0175	1.2032	0.0885	14.4	1
1-614567	0.6446	-1.1382	2.1943	0.6284	0.1157	1.6698	0.6389	10.2	0
1-210186	0.4477	-1.9328	2.8121	0.0342	0.0139	0.4350	0.0376	10.7	0
1-295542	0.6063	-2.0405	3.7985	0.0201	-0.0074	2.0132	0.1038	27.0	0
1-71872	0.5704	-2.4916	4.1627	-0.0272	-0.0945	4.0290	0.0388	7.7	1
1-71987	0.5560	-2.0741	3.5306	0.0168	0.0072	1.4681	0.4039	14.3	0
1-37863	0.6141	-2.2581	4.4121	0.1124	0.0138	2.3847	0.3035	13.7	0
1-37385	0.5861	-2.5195	4.3766	0.0032	-0.0530	2.4755	0.3449	4.8	0
1-37336	0.5931	-2.1943	3.7534	-0.0216	0.0029	1.5568	0.0860	8.9	1
1-37633	0.6196	-2.2676	3.9954	0.0014	0.0177	2.0040	0.1216	19.2	0
1-24660	0.5560	-1.9830	3.2225	0.0394	-0.0051	1.0989	0.0657	8.9	0
1-574506	0.5404	-2.0429	3.5252	0.0211	0.0088	1.3389	0.1329	21.4	0
1-574504	0.5669	-2.4553	4.3214	0.0889	0.0179	1.0877	0.2836	17.6	0
1-298111	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-385623	0.5744	-1.7129	3.0685	0.0760	0.0000	3.2054	0.0648	121.9	0
1-523211	0.5943	-2.2527	3.9481	0.0002	0.0122	1.0985	0.1303	13.9	0

Table B1. Main values of the imaging predictors for the 47 galaxies with type I active nuclei according to our selection criteria (Cortes-Suárez et al. 2022). These seven values were used to estimate the LD1 parameter to classify the merging galaxy following Nevin et al. (2019).

MANGAID (1)	Gini (2)	M ₂₀ (3)	Concentration (C) (4)	Asymmetry (A) (5)	Clumpiness (S) (6)	Sersic (n) (7)	Shape Asymmetry (A _S) (8)	S/N (9)	Negative A (10)
12-84677	0.5604	-2.1705	3.5267	0.0272	0.0089	1.2985	0.1369	12.9	0
1-113651	0.5320	-2.0499	3.3046	-0.0235	0.0129	0.9991	0.0274	10.4	1
1-547210	0.6707	-0.4428	4.5952	-0.1415	0.0629	0.9632	0.4015	5.1	1
1-547402	0.5764	-1.8962	3.7603	-1.4056	-0.3170	0.9121	0.2598	1.5	1
1-177493	0.6861	-0.4645	3.2641	0.1041	0.0183	0.9164	0.2112	11.1	0
1-177528	0.4673	-2.0513	3.1695	-0.0392	0.0010	0.5357	0.1092	12.8	1
1-180629	0.4731	-1.7810	2.8584	0.0022	0.0260	0.9227	0.1062	6.6	0
1-180537	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-25554	0.5502	-2.2134	3.6783	-0.0956	-0.0334	1.3119	0.1776	7.8	1
...

Table B2. Same as B1 but for the 236 galaxies with type II active nuclei. The complete data will be available in the online version.

6 Resultados y conclusiones

El objetivo principal de esta tesis fue el de obtener una muestra de AGNs tipo 1 para estudiar simultáneamente la región más interna donde se localiza el núcleo activo y el resto de la galaxia que lo contiene para así obtener relaciones de escala entre las propiedades de ambas regiones. Para ello, se utilizaron los datos del catastro MaNGA, el cual observó 10,000 galaxias con la técnica de espectroscopia integral (IFS). Dada la magnitud del proyecto, éste se dividió en 4 partes que se atacaron en el siguiente orden: 1) Obtención de la muestra, 2) Estudio de la región de líneas anchas, 3) Estudio de la galaxia anfitriona y, 4) Relaciones de Escala entre ambas regiones. En esta sección se muestran los resultados obtenidos (hasta el momento) para la muestra de 47 AGNs tipo 1. Al final de éstos se mencionan las conclusiones.

6.1. Resultados de la obtención de la muestra

Para obtener la muestra, se desarrolló un método enfocado en identificar AGNs tipo 1 en grandes bases de datos, utilizando cocientes de flujo para buscar la línea de emisión ancha de $H\alpha$. Considerando los espectros integrados centrales de tres segundos de arco de las galaxias de MaNGA, se estimaron los flujos en dos bandas ubicadas en los lados azul y rojo cerca de la posición esperada de la componente ancha de $H\alpha$. Los cocientes se dieron entre el flujo de las bandas azul y roja y el flujo del continuo adyacente. La posición de estas regiones tiene en cuenta posibles asimetrías de la línea ancha así como la presencia de líneas de absorción estelar. Luego, utilizando el diagrama de caja y bigotes, se identificaron y separaron los candidatos AGN tipo 1 de galaxias inactivas. Este método fue bastante estudiado. Se comparó con los desarrollados por Stern y Laor, 2012; Oh et al., 2015; Liu et al., 2019 obteniendo más objetos de este tipo. Se aplicó, por un lado, en los espectros de MaNGA DR15 con la componente estelar sustraída, y por otro lado, en los espectros observados en otra época de la muestra de SDSS DR7. Para el caso en el que se sustrajo la componente estelar, el método detecta la misma cantidad de AGNs tipo 1 que cuando no se hace esta sustracción, por lo que se puede omitir y así evitar el sesgo introducido con tales procedimientos. No obstante, el método podría perder algunos objetos ya que la identificación de los objetos podría depender de la intensidad de la línea, como lo considera Liu et al., 2019 donde proponen un límite inferior para el flujo de $H\alpha_{BC}$ de $10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Así mismo, el método es dependiente del cociente S/N de la muestra analizada afectando el valor de los bigotes superiores, los cuales son los que se utilizan para identificar a los candidatos a tener una componente ancha de $H\alpha$. Tal fue el caso de la muestra de SDSS DR7, donde una cantidad considerable de galaxias tenían valores de $S/N=1$ y eso originó

que los valores de los bigotes superiores fueran mayores a los obtenidos con los datos de MaNGA.

Todo este trabajo fue reportado y publicado en Agosto de 2022 en el MNRAS con la cita Cortes-Suárez et al., 2022. En dicho artículo se hace mención de que el método se desarrolló y aplicó en la mitad de la muestra de MaNGA, compuesta por 4636 galaxias y de la cual se obtuvieron 47 AGNs tipo 1. Como resultado particular de esta tesis, se aplicó también para la muestra completa de MaNGA (10,225 galaxias), incrementando el número a 103.

A continuación se enlistan los principales resultados de la parte que comprende la obtención de la muestra:

- Se identificaron 47 AGNs con líneas de emisión anchas de una muestra de 4,636 galaxias, correspondiendo al 1 % de toda la muestra (hasta un $z \leq 0.15$). Posteriormente, se identificaron 103 AGNs tipo 1 de la muestra completa de MaNGA de 10,225 galaxias.
- Se aplicó nuestro método en los espectros del catastro SDSS DR7 que coinciden con los 4,636 objetos de MaNGA, perdiendo el 17 % de las galaxias. De éstos, dos no tienen espectros en DR7, dos son objetos variables y los restantes cuatro tienen una componente ancha de $H\alpha$ débil.
- Comparando la muestra obtenida con los catálogos de AGNs tipo 1 construidos con la base de datos SDSS DR7, encontramos que nuestro método detecta de manera más eficiente las galaxias con AGN tipo 1. El porcentaje de objetos detectados por diferentes autores sobre la base de muestras iguales utilizando SDSS DR7 son: Liu et al., 2019 71 %, Oh et al., 2015 60 %, Stern y Laor, 2012 67 %.
- Del resultado anterior, se demostró que el método de detección de AGNs tipo 1 da mejores resultados que los diagramas de diagnóstico BPT y WHAN. Así mismo, se demostró para la identificación de este tipo de objetos no es necesario realizar una sustracción estelar.

6.2. Resultados de la región de líneas anchas

Una vez obtenida la muestra de AGNs tipo 1, se procedió a hacer el estudio de la región de líneas anchas. Éste consistió en estimar las propiedades físicas de los agujeros negros supermasivos. Así mismo, también se hizo una caracterización multifrecuencia cuyos resultados se reportan en Cortes-Suárez et al., 2022.

Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

- A partir del espectro observado, se clasificó la contribución del núcleo activo y la galaxia anfitriona empíricamente utilizando índices espectrales: AGN dominante (18.5 %), Intermedios (30 %) y Galaxia dominante (51.5 %), evidenciando diferentes niveles de actividad nuclear contribuyendo en los espectros observados.

- Se realizó la sustracción estelar en la muestra de 47 AGNs tipo 1 utilizando el método de síntesis de poblaciones estelares (Starlight) y modelando la psf del AGN para sustraerla de los cubos de datos de MaNGA (QDeblend3D).
- Comparando los espectros de líneas de emisión obtenidos con Starlight y QDeblend3D se encontró que el primero muestra un mejor resultado con los AGNs del grupo Galaxia dominante. El segundo tiene un mejor desempeño con el grupo AGN dominante. Para el grupo Intermedio, los espectros de líneas de emisión tanto de Starlight como de QDeblend3D muestran resultados similares.
- Con los espectros de líneas de emisión obtenidos con Starlight, se encontró que la muestra de AGNs tiene las siguientes propiedades: luminosidad en el continuo a 5100 Å en el intervalo $40.28 < \log(L_{5100}) < 45.03$; luminosidad en la línea de [OIII] en el intervalo $38.96 < \log(L_{[\text{OIII}]}) < 43.35$; luminosidad de $H_{\alpha BC}$ en el intervalo $39.69 < \log(L H_{\alpha BC}) < 43.47$; anchuras de las componentes anchas en los intervalos $1090 < \text{FWHM}(H_{\alpha BC}) < 11,100 \text{ km s}^{-1}$ y $1350 < \text{FWHM}(H_{\beta BC}) < 10,500 \text{ km s}^{-1}$.
- Con los espectros de líneas de emisión obtenidos con QDeblend3D, se encontró que la muestra de AGNs tiene las siguientes propiedades: luminosidad en el continuo a 5100 Å en el intervalo $39.84 < \log(L_{5100}) < 44.44$; luminosidad en la línea de [OIII] en el intervalo $38.70 < \log(L_{[\text{OIII}]}) < 42.73$; luminosidad de $H_{\alpha BC}$ en el intervalo $40.01 < \log(L H_{\alpha BC}) < 43.49$; anchuras de las componentes anchas en los intervalos $1180 < \text{FWHM}(H_{\alpha BC}) < 9980 \text{ km s}^{-1}$ y $1200 < \text{FWHM}(H_{\beta BC}) < 9720 \text{ km s}^{-1}$.

Para obtener los parámetros de los núcleos activos, se decidió utilizar un valor representativo para las luminosidades y los FWHM. Como los resultados de Starlight y QDeblend3D son similares, se utilizó el promedio de ambos resultados. De esta manera, se estimó lo siguiente:

- Se utilizó la relación de Vestergaard y Peterson, 2006 para estimar la masa de los SMBHs a partir de las propiedades de $H_{\beta BC}$. La muestra tiene un intervalo de $\log M_{\text{BH}}$ de 6.14-8.89 en unidades de logaritmo con errores sistemáticos de 0.57 dex.
- También se utilizó la relación de Greene y Ho, 2005 para estimar la masa de los SMBHs a partir de las propiedades de $H_{\alpha BC}$. La muestra tiene un intervalo de $\log M_{\text{BH}}$ de 5.61-8.80 en unidades de logaritmo con errores sistemáticos de 0.27 dex.
- Los cocientes de Eddington encontrados con las masas de VP06 van de -4.03 a -1.14 en unidades de logaritmo. Con la relación de GH05, los cocientes van de -3.74 a -0.76 en unidades de logaritmo.

- Del punto anterior se determinó que 8 AGNs tipo 1 son de alta acreción ($-2 < \log(R_{edd}) < 0$) y el resto de baja acreción.

Los resultados obtenidos indican que la muestra de AGNs tipo 1 encontrados a bajo corrimiento al rojo ($z < 0.15$) muestran un amplio intervalo en masas y luminosidades. Se tienen objetos con $\log M_{BH} < 7.5$ que corresponden a los de “baja masa” y también se tienen objetos de masa considerable al tener objetos con $\log M_{BH} > 8$. El intervalo de luminosidades bolométricas también es amplio: va aproximadamente de los 10^{41} hasta los 10^{45} erg s^{-1} . En otras palabras, la muestra se compone de 33 (70%) AGNs de baja luminosidad ($L_{bol} < 10^{43}$ erg s^{-1}), y 14 (30%) AGNs tipo Seyfert ($< 10^{43} < L_{bol} < 10^{46}$ erg s^{-1}). De estos dos grupos, 2 AGNs de baja luminosidad y 6 Seyfert tienen alta acreción.

Esta variedad de propiedades también se ve reflejado en la forma del espectro óptico (AGN dominante, Intermedio y Galaxia dominante) y de igual forma en otros intervalos de longitud de onda. En Cortes-Suárez et al., 2022 se reportó lo siguiente:

- Utilizando el plano $[OIII]\lambda 5007$ versus índice de excitación, se encontró que de los 47 AGNs tipo 1, hay 4 galaxias de alta excitación (HE) y 4 de baja excitación (LE).
- De la información fotométrica en longitudes de onda en el infrarrojo, se identificó a la muestra de AGNs tipo 1 en el diagrama color-color de WISE encontrando una buena correlación entre los grupos AGN dominante, intermedio y galaxia dominante con los colores de WISE, siendo más azul para los AGN dominantes y más rojo para los galaxia dominante.
- Al caracterizar la emisión en radio, se encontraron 5 radio galaxias de alta excitación (HERG) y 4 radio galaxias de baja excitación (LERG), 3 de ellos mostrando evidencia visible de radio-jets en las imágenes de FIRST.
- En el análisis multifrecuencia, se compararon los indicadores de luminosidad de la intensidad del AGN ópticos ($H_{\alpha BC}$, $[OIII]$) con las luminosidades en los intervalos de rayos-X, infrarrojo y radio encontrando que, $L(H_{\alpha BC})$ provee correlaciones similares que $L[OIII]$. La correlación con la emisión de la región de líneas anchas es esperada dada la proximidad que tiene con el agujero negro supermasivo.

6.3. Resultados de la galaxia anfitriona

Simultáneamente al estudio de la región de las líneas anchas, también se estudiaron los parámetros de las galaxias anfitrionas. En el artículo *SDSS-IV MaNGA: The Incidence of Major Mergers in type I and II AGN Host Galaxies in the DR15 sample* (Hernández-Toledo, Cortes-Suárez et al. 2023) se reportó la información morfológica y otras propiedades generales tanto de la muestra de AGNs como de una muestra control del DR15 pero sin núcleo activo.

- Para las muestras de AGNs tipo 1 y 2 encontradas en Cortes-Suárez et al., 2022, así como del resto de galaxias de MaNGA sin núcleo activo (4353), se reportaron los tipos morfológicos, masas estelares y colores ($g - i$) de las galaxias anfitrionas, tanto observadas como corregidas por volumen. En esta tesis se reportan, además, estos parámetros para las galaxias anfitrionas de los 103 AGNs tipo 1. Se encontró que las galaxias anfitrionas con AGN tipo 1 son en su mayoría discos de tipo temprano (Sa, Sb y muy pocos Sc) con una pequeña fracción de galaxias elípticas. La distribución de sus masas y colores están significativamente concentradas hacia las más masivas y con los colores más rojos.

Adicional a estas propiedades generales, también se determinaron algunas propiedades morfológicas con mayor precisión al realizar la descomposición bidimensional con Galfit en 46 de las 47 galaxias anfitrionas.

- Para realizar el modelado de la psf del AGN, se realizó la descomposición bidimensional en 46 de los 47 AGNs tipo 1 utilizando el software Galfit.
- Los modelos utilizados para ajustar las galaxias anfitrionas involucraron una fuente puntual, un bulbo, un disco y una barra. De las 46 galaxias, a 34 se le pudo ajustar la fuente puntual correspondiente al núcleo activo, 3 galaxias solo tienen un modelo de bulbo (elípticas) y a 20 se les pudo modelar su barra.
- De acuerdo al criterio de Fisher y Drory, 2010, 21 galaxias tienen un pseudo bulbo (índice de Sérsic $n < 2$) y 19 tienen un bulbo clásico ($n > 2$).
- Con las magnitudes de las 4 componentes ajustadas, se realizó una estimación de la contribución porcentual de la componente nuclear en el flujo total de la galaxia. Los resultados arrojan un intervalo que va del 0.05 % hasta un 63.26 %.

Así como en las propiedades de los núcleos activos, las propiedades morfológicas de las galaxias anfitrionas también son muy variadas. No todas fueron exploradas a detalle en este trabajo pero se espera hacerlo en un trabajo a futuro.

En HT23 se utilizó el método discriminante lineal (Nevin et al., 2019) para identificar fusiones mayores y los estados de fusión de los 47 AGNs tipo 1 y los 236 AGNs tipo 2 y determinar si éstos inducen el encendido del núcleo activo. Los resultados que se reportaron en dicho artículo son los siguientes:

- Se estimaron los predictores morfológicos en el óptico (Gini, M_{20} , Concentración, Asimetría, Grumosidad, Índice de Sérsic y forma de la asimetría) para la muestra del DR15 (4636 galaxias).

- Con el método LDA se identificó una fracción del 25 % al 35 % de fusiones mayores en las muestras de AGNs tipo 2 y tipo 1, respectivamente, y del 29 % para la muestra combinada. Se realizó lo mismo en una muestra control sin núcleo activo pero con las mismas distribuciones en masa estelar, morfología, color y corrimiento al rojo. La fracción encontrada fue del 22 %.
- En esta tesis se realizó lo mismo utilizando la muestra de 103 AGNs tipo 1 encontrando fracciones de fusiones mayores que van del 22 % al 34 % en las muestras de AGNs tipo 2 y tipo 1, respectivamente, con un 28 % para la muestra combinada. Para el caso de la muestra control, la fracción de fusiones mayores es del 19 %.
- Como las fracciones de fusiones mayores son ligeramente mayor en las muestras de AGNs que en la muestra de galaxias sin núcleo activo, el resultado apoya la idea de que un mecanismo externo como las fusiones mayores pueden inducir la actividad observada del AGN.
- También se exploraron otros mecanismos que pueden inducir la actividad nuclear como una barra galáctica. Más de la mitad de las galaxias anfitrionas de los 103 AGNs tipo 1 (55 %) son barradas, una fracción similar encontrada en HT23 para sus muestras de AGNs e igual de mayor que la de la muestra control (46 %). Cuando solo se toma en cuenta las galaxias tardías (Sbc-Sc), la fracción de galaxias anfitriones con barra es aún mayor (65 %).
- Utilizando la luminosidad de [OIII] como indicador de la actividad del AGN, se encontraron valores ligeramente mayores cuando la galaxia anfitriona tiene una barra, siendo más significativos en los encontrados en HT23. Estos resultados también sugieren que las barras pueden inducir la actividad observada del AGN.
- Finalmente, dado que las galaxias, en adición a los procesos seculares, también son expuestas a las influencias de su ambiente local y a gran escala, se investigó la influencia del ambiente en la incidencia de fusiones mayores. Se consideró el parámetro de fuerza de marea Q , estimado en grupo y a gran escala (LSS 5 Mpc), encontrando que las muestras con y sin AGN, no muestran diferencias significativas, lo que no sesga nuestros resultados sobre la incidencia de fusiones mayores.

De lo anterior se concluye que tanto las fusiones mayores como la presencia de una barra en la galaxia, son mecanismos que promueven la actividad nuclear observada. Por lo tanto, no se tiene evidencia de tener un mecanismo dominante, ambos juegan un rol importante en el encendido del núcleo activo.

6.4. Relaciones de escala entre ambas regiones

Dentro de los diferentes parámetros que se encontraron de éstos AGNs están la masa de los agujeros negros supermasivos, su cociente de Eddington, una caracterización de su variabilidad, una clasificación dependiente de la dominancia del AGN o de su galaxia anfitriona en el espectro, entre otros. Por su parte, los parámetros que se estudiaron de sus galaxias anfitrionas fueron, su color, masa estelar, tipo morfológico, cinemática del gas y las estrellas, estado de merger, identificación de barras, entre otros.

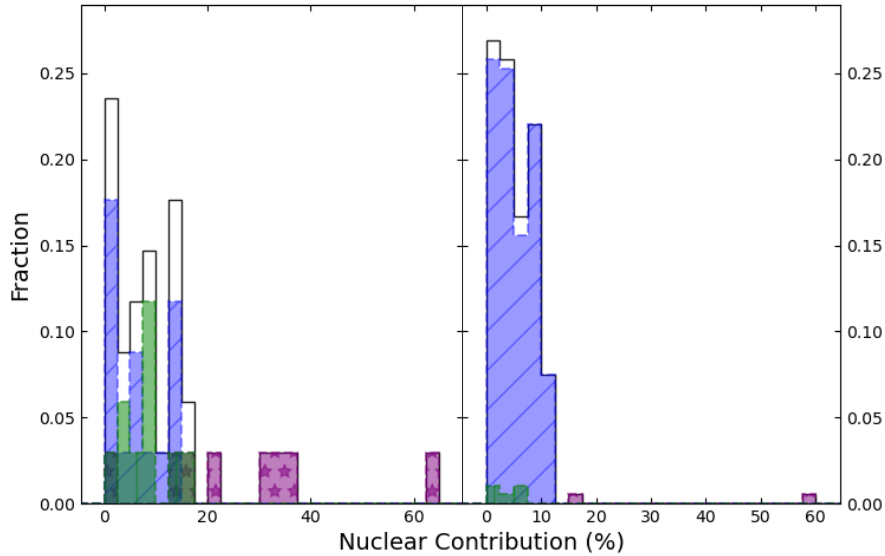


Figura 6.1: Distribuciones de la contribución nuclear en el flujo total de la galaxia. En el panel izquierdo se muestra la distribución de los AGNs tipo 1 y en el panel derecho la de los tipo 2. Se muestran las distribuciones totales (negro), la de las galaxia dominante (azul), la de los intermedio (verde) y la de los AGN dominante (púrpura).

El primer parámetro de los AGNs que tiene correlación con parámetros de las galaxias anfitrionas es la clasificación de familias de AGNs vista en la sección 3.3. A pesar de que no encontramos una correlación con las masas de los agujeros negros supermasivos, si las hallamos con parámetros como la luminosidad del continuo a 5100\AA (ver panel derecho de la figura 4.14) o el cociente de Eddington (ver figura 4.17), donde los AGN dominante son los más luminosos y con mayores tasas de acreción, seguidos de los intermedios y finalmente los galaxia dominante. También encontramos correlación con la fotometría de las galaxias anfitrionas. Como se mencionó en el capítulo 5, se hizo una corrección fotométrica para quitar la contribución del AGN y hacer una correcta estimación del color ($g - i$) de la galaxia anfitriona. Para ello, se utilizaron los resultados del análisis con Galfit (descritos en la sección 4.1.2) para hacer un estimado de la contribución nuclear en flujo con respecto a las otras componentes de la galaxia como el bulbo y/o disco. La figura 6.1 (la cual se

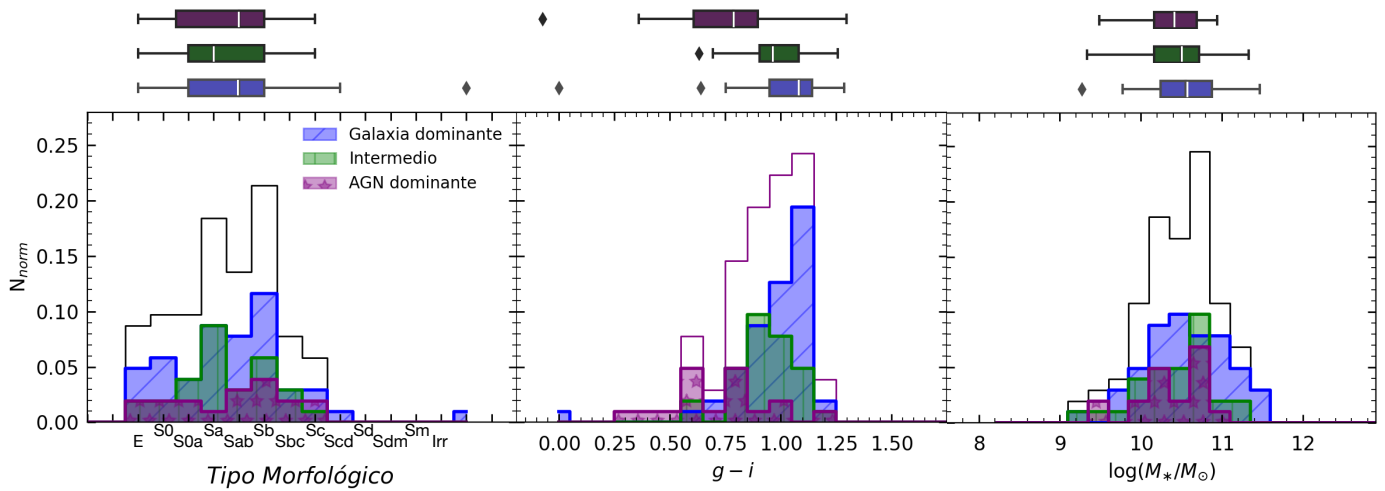


Figura 6.2: Distribuciones de la contribución nuclear en el flujo total de la galaxia. En el panel izquierdo se muestra la distribución de los AGNs tipo 1 y en el panel derecho la de los tipo 2. Se muestran las distribuciones totales (negro), la de las galaxia dominante (azul), la de los intermedio (verde) y la de los AGN dominante (púrpura).

reporta en el Apéndice A del segundo artículo) muestras las contribuciones nucleares por familia de AGN. El histograma negro muestra la distribución total, el azul muestra a las galaxia dominante, el verde a los intermedios y el púrpura a los AGN dominante.

En dicha figura se muestra la contribución de los AGNs, en el panel izquierdo para los tipo 1 y en el panel derecho para los tipo 2, mostrando que los AGN dominante son los que tienen mayor contribución de flujo llegando a ser más del 60% del flujo total de la galaxia (para esta muestra). En cambio los galaxia dominante e intermedios tienen contribuciones muy por debajo del 5% y no mayor al 20% en algunos casos.

También se exploró si esta clasificación por familias tiene alguna correlación con las propiedades de las galaxias anfitrionas. En la figura 6.2 se muestran las distribuciones del tipo morfológico (panel izquierdo), masa estelar (panel derecho) y distribución de color ($g-i$) (panel central) para las cantidades observadas. Se separaron por las familias de AGNs utilizando el mismo código de color. Así mismo se añadieron diagramas de caja y bigotes en la parte superior para visualizar mejor la distribución de cada familia en cada parámetro.

Encontramos que no hay diferencias significativas cuando separamos la distribución en estas tres familias. El único cambio perceptible es en el color donde los AGN-dominante se encuentran en galaxias más azules que las otras dos familias.

6.5. Conclusión final y trabajo a futuro

Los resultados presentados hasta el momento comprenden una parte del objetivo principal que es la obtención de relaciones de escala entre las propiedades del núcleo activo y las propiedades de su galaxia anfitriona. Por falta de tiempo no se pudieron explorar a fondo pero en el camino se encontraron excelentes resultados.

El primero de ellos fue la creación del método para encontrar AGNs tipo 1 en grandes catálogos. Se demostró tener mejores resultados que los diagramas de diagnóstico tradicionales (BPT y WHAN), así como otros métodos enfocados a detectar este tipo de AGNs. También se demostró que fue posible encontrarlos sin la necesidad de realizar una sustracción estelar.

El segundo de ellos fue la exploración de los mecanismos que inducen la actividad nuclear. Se encontró que tanto las fusiones mayores como la presencia de una barra galáctica son mecanismos que pueden promover el encendido de un núcleo activo.

El tercero fue la detección de objetos variables. Al comparar espectros de diferente época, se detectaron 81 objetos con una amplia variedad de variabilidad en la forma de las líneas anchas de $H\alpha$ y $H\beta$, en su intensidad y en la forma de su continuo. Se realizó una caracterización de primer orden y se espera hacer un seguimiento espectroscópico como trabajo a futuro.

Finalmente, la muestra de AGNs tipo 1 encontrada resultó ser muy rica a pesar de encontrarse en un intervalo de bajo corrimiento al rojo ($z < 0.15$). No solo se tienen AGNs de baja luminosidad sino también AGNs tipo Seyfert. Se encontró una enorme variedad de perfiles en las líneas de emisión, en la forma del continuo tanto estelar como la del núcleo activo así como el cambio en los perfiles de las líneas anchas a través de los años. Algunas de estas galaxias presentan jets observables en el radio continuo. Incluso sus propiedades morfológicas son muy variadas.

La identificación de esta muestra de AGN tipo 1, así como su expansión a 103 objetos, abre una ventana en el análisis de sus propiedades más básicas combinado con el espacio multiparamétrico de los datos de MaNGA y sus propiedades en diferentes longitudes de onda, permitiendo investigaciones más exhaustivas de las propiedades de esta muestra de AGN y su conexión con sus respectivas galaxias anfitrionas.

Como se mencionó a lo largo de esta tesis, se dejaron varios proyectos como trabajo a futuro. Estos son:

- Realizar el análisis hecho en la muestra de 47 AGNs tipo 1 en la muestra de 103 AGNs tipo 1. Esto implica a hacer la sustracción estelar, hacer el ajuste de las líneas de emisión y estimar los parámetros de los núcleos activos, incluyendo la masa de los agujeros negros supermasivos.
- El origen de la variabilidad en los espectros y el porque hay diferentes tipos. Actualmente nos encontramos haciendo un seguimiento observacional de una submuestra de este tipo de AGNs, esperando tener diferentes espectros para cada uno y poder responder estas preguntas.
- La masa de los SMBH estimadas en la sección 4.6.1 también correlaciona con propiedades

de las galaxias anfitrionas pero por falta de tiempo, no pude hacer este estudio. Ésta y otras correlaciones se dejarán como proyectos a futuro.

- Los mapas de velocidad y de líneas de emisión se exploraran a detalle para ver la influencia de la actividad nuclear.

6.6. Agradecimientos

Agradezco profundamente el apoyo de mis tutores Héctor y Alenka. Durante muchos años compartieron su sabiduría y conocimiento, lo cual me hizo amar a la astronomía. Sus especialidades hicieron que quisiera profundizar en el estudio de los AGNs y sus galaxias anfitrionas. Agradezco también al Instituto de Astronomía de la UNAM por ser el lugar donde me formé como Astrónomo. A sus investigadores, a mis compañeros y a sus congresos. Agradezco también a CONACyT y a la beca con número 825458 que me fue otorgada durante mis 4 años de doctorado. También agradezco a la beca PAPIIT con clave AG101222 y folio 109223, del proyecto “Investigación y desarrollo de algoritmos para análisis de datos masivos en áreas diversas y para la astrofísica del LSST”, que me fue dada para terminar el proceso de graduación. Espero que en el futuro pueda seguir desempeñando como investigador.

A Estimación de la distancia comóvil

En este apéndice se muestran diferentes formas para estimar la distancia comóvil. En este trabajo se utilizó la ecuación de Sulentic et al., 2006, la cual se obtuvo de un ajuste de resultados que utilizó un modelo cosmológico. Para darle validez a las distancias calculadas con esta ecuación (que fueron utilizadas para estimar las propiedades físicas de los núcleos activos), se comparó con las distancias estimadas con modelos cosmológicos más actuales.

El primero de ellos es el utilizado por la paquetería *Astropy* (Astropy Collaboration et al., 2022), utilizada en python. La subpaquetería *astropy.cosmology* puede estimar las distancias comóviles con modelos cosmológicos predeterminados o con un modelo propio. Para realizar esta comparación, se utilizaron los parámetros cosmológicos basadas en los datos finales del proyecto Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) de nueve años, junto con una serie de conjuntos de datos cosmológicos adicionales. Éstos condideran una constante de Hubble $H_0 = 69.3 \text{ Mpc km s}^{-1}$, una $\Omega_m = 0.287$ y un Universo plano (Hinshaw et al., 2013).

La segunda forma fue comparando nuestras estimaciones con las reportadas por el DR13 de SDSS (Albaretí et al., 2017) del proyecto Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) cuyo modelo cosmológico utiliza Oscilaciones Acústicas Bariónicas (Dawson et al., 2016).

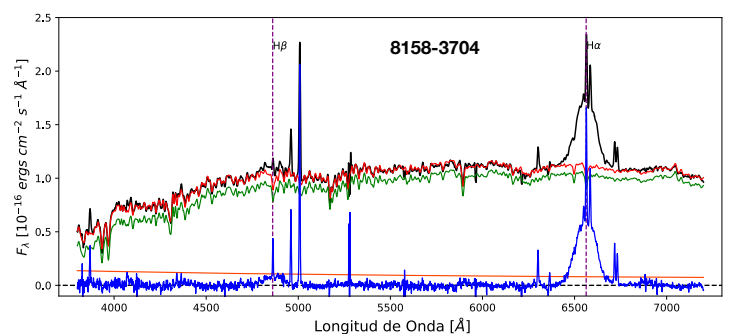
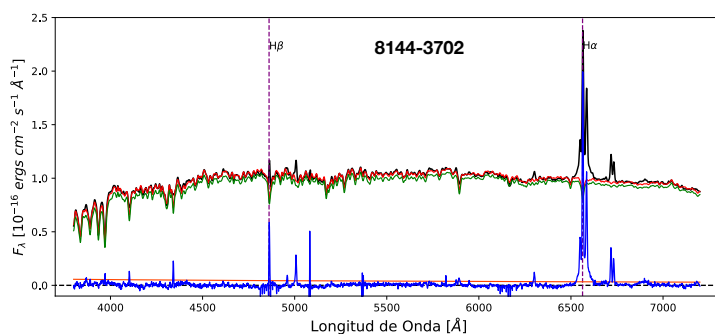
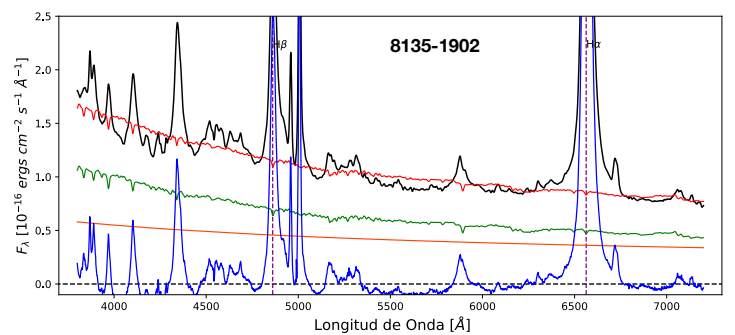
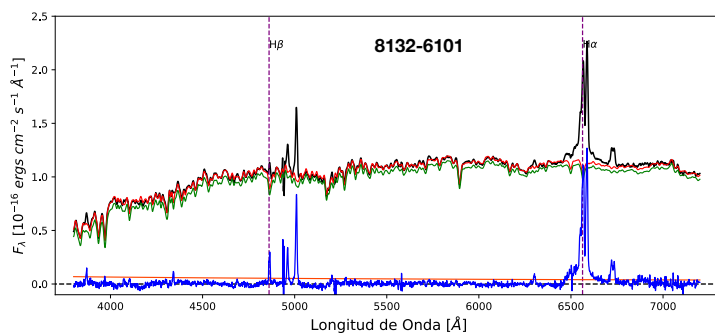
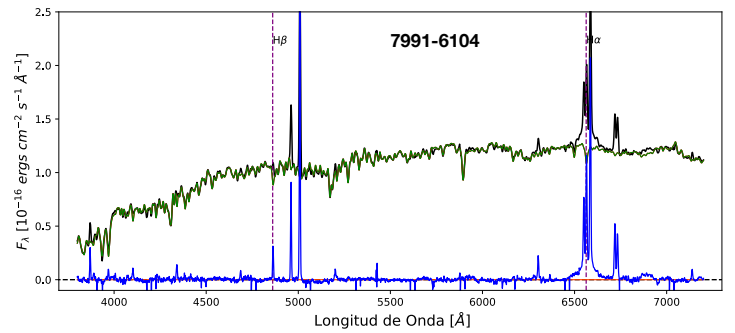
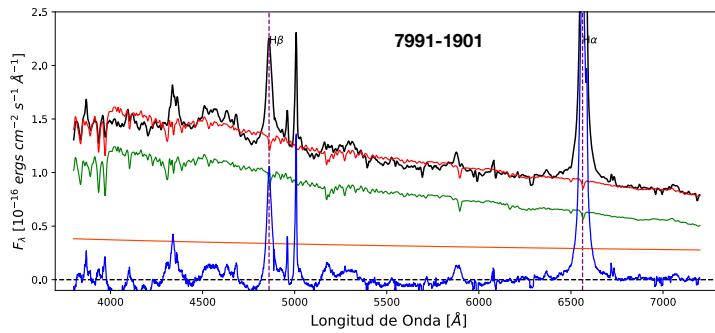
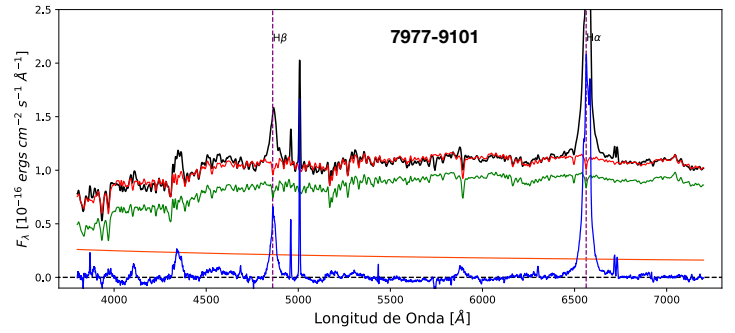
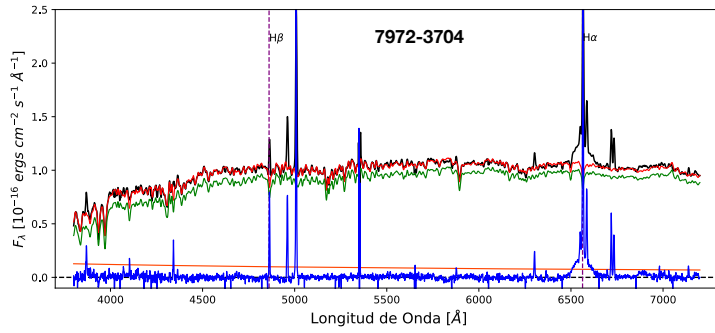
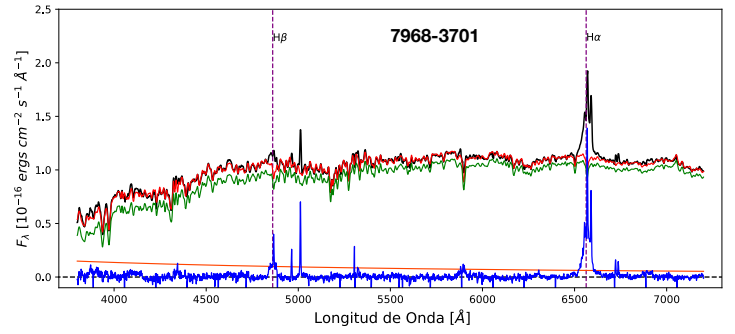
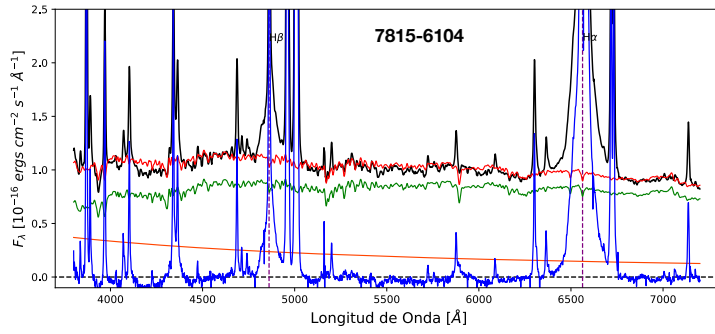
En la tabla A.1 se reportan las distancias comóviles estimadas con la ecuación de Sulentic et al., 2006 (tercera columna), las reportadas por Albaretí et al., 2017 en BOSS (cuarta columna) y las calculadas con los parámetros cosmológicos de WMAP9 (Hinshaw et al., 2013) (quinta columna). La sexta y séptima columna muestran las diferencias porcentuales entre la estimación con Sulentic con BOSS y WMAP9 respectivamente. Se encontró que la diferencia porcentual más alta entre las distancias estimadas con Sulentic et al., 2006 y las reportadas en Albaretí et al., 2017 es de 4.4 % y el promedio porcentual es de 2.4 %. En el caso de las estimadas con WMAP9, la diferencia porcentual más alta es de 2.0 % y el promedio porcentual es de 1.7 %. Estas diferencias son pequeñas y están dentro de los errores porcentuales considerados (10 %). Para ver que tanto modifican las cantidades estimadas, se hizo un cálculo de la luminosidad de la componente ancha de $H\alpha$ utilizando las distancias reportadas en Albaretí et al., 2017 ya que con estas se tuvo mayores diferencias con las distancias de WMAP9. Las diferencias porcentuales entre las luminosidades estimadas con Sulentic et al., 2006 y BOSS van del 0.2 % hasta el 9.0 % con un promedio porcentual del 5.0 %. Aunque hay algunos objetos que tienen diferencias considerables, el promedio todavía se encuentra debajo del umbral del error porcentual. Por lo tanto, los parámetros estimados con las distancias de Sulentic son buenas estimaciones pero en algunos objetos podría haber una sobreestimación que en el futuro se va a corregir.

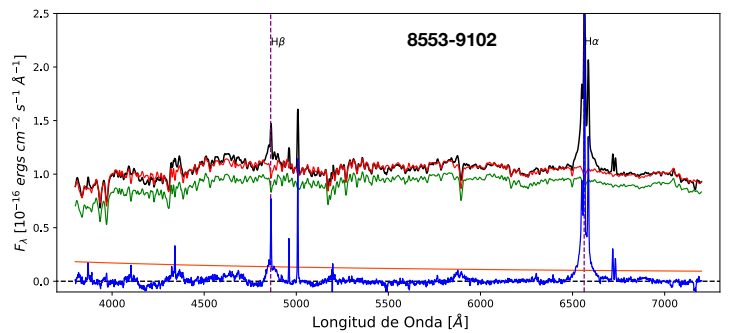
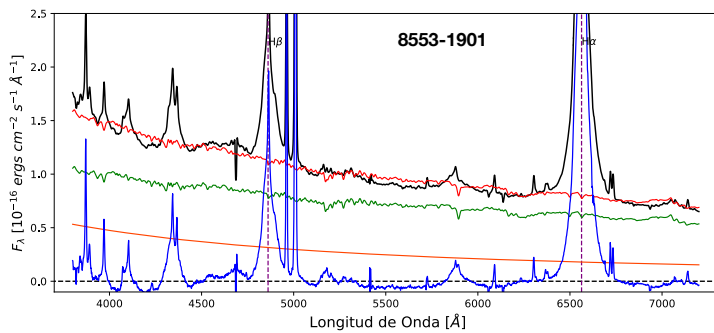
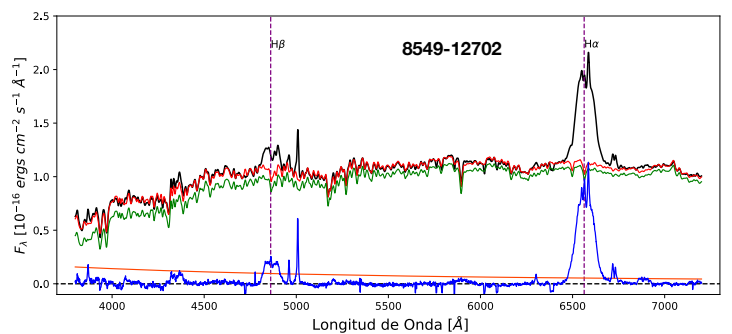
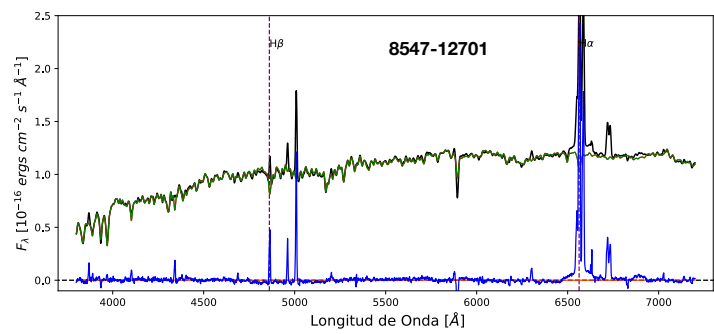
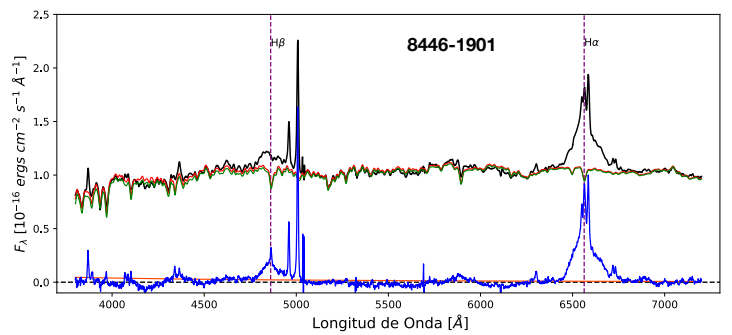
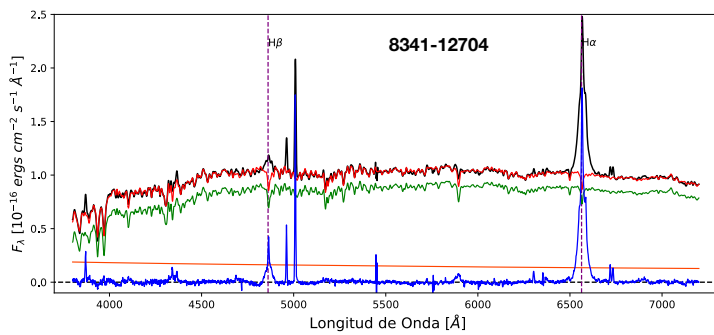
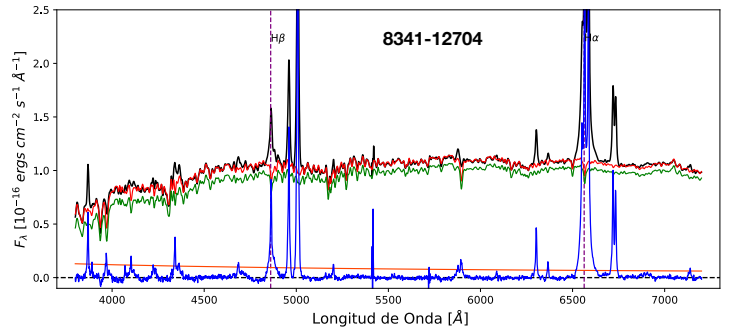
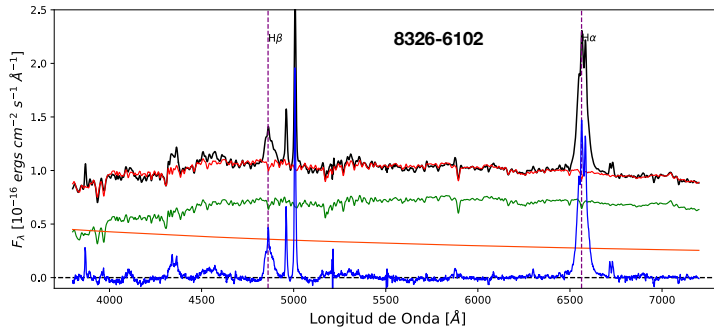
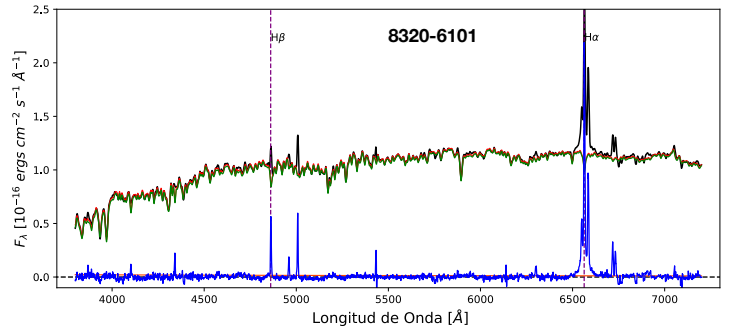
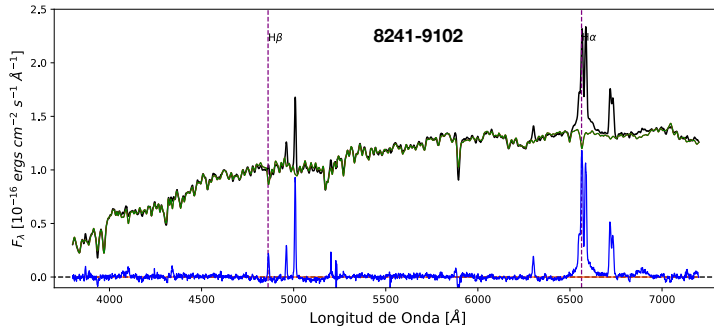
MaNGA-ID	z	d_c (Sulentic et al., 2006)	d_c (BOSS)	d_c (WMAP9)	Diferencia %	Diferencia %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) (S-BOSS)	(7) (S-WMAP)
7815-6104	0.08070	347.7	352.0	342.8	1.2	1.4
7968-3701	0.05154	224.2	223.0	220.4	0.5	1.7
7972-3704	0.04247	185.3	183.1	182.0	1.2	1.8
7977-9101	0.02659	116.6	112.4	114.3	3.6	1.9
7991-1901	0.09300	399.5	409.0	394.0	2.4	1.4
7991-6104	0.02820	123.7	124.1	121.2	0.4	2.0
8132-6101	0.12940	549.5	573.8	543.6	4.4	1.1
8135-1902	0.11800	502.9	523.8	497.1	4.2	1.2
8144-3702	0.09785	419.7	435.2	414.1	3.7	1.3
8158-3704	0.05687	247.1	250.0	242.9	1.2	1.7
8241-9102	0.06653	288.2	297.9	283.6	3.4	1.6
8320-6101	0.02657	116.6	121.1	114.2	3.9	2.0
8326-6102	0.07038	304.5	313.2	299.7	2.9	1.6
8341-12704	0.03035	133.0	137.2	130.4	3.2	1.9
8446-1901	0.02366	103.9	107.7	101.8	3.7	2.0
8466-3704	0.10724	458.6	477.5	452.9	4.1	1.2
8547-12701	0.04488	195.7	199.7	192.2	2.0	1.8
8549-12702	0.04334	189.1	192.3	185.7	1.7	1.8
8553-1901	0.03023	132.4	134.3	129.9	1.4	1.9
8553-9102	0.07366	318.3	326.3	313.4	2.5	1.5
8603-6101	0.03118	136.6	134.6	133.9	1.5	1.9
8606-12701	0.06333	274.6	279.9	270.1	1.9	1.6
8615-3701	0.06181	268.1	268.4	263.7	0.1	1.6
8713-9102	0.03316	145.2	149.0	142.4	2.6	1.9
8714-3704	0.05169	225.0	230.7	221.0	2.6	1.8
8718-12701	0.04992	217.4	222.8	213.5	2.5	1.8
8725-9102	0.04905	213.7	219.3	209.9	2.6	1.8
8940-12702	0.02674	117.3	121.2	115.0	3.3	2.0
8978-6104	0.04931	214.8	218.1	211.0	1.5	1.8
8983-3704	0.06209	269.3	278.1	264.9	3.3	1.6
8990-12705	0.03723	162.8	167.7	159.7	3.0	1.9
8992-3702	0.02642	115.9	119.7	113.6	3.2	2.0
9000-1901	0.02069	90.9	94.1	89.1	3.5	2.0
9036-6101	0.05984	259.8	265.3	255.4	2.1	1.7
9048-1902	0.05030	219.0	223.2	215.2	1.9	1.8
9181-12702	0.04082	178.3	183.0	175.0	2.6	1.9
9182-6102	0.04025	175.8		172.6		1.9
9193-12704	0.10744	459.4	471.9	453.7	2.7	1.2
9193-9101	0.04506	196.5	196.3	193.0	0.1	1.8
9194-6101	0.08404	362.0	368.8	356.8	1.9	1.5
9194-6103	0.03078	134.8	133.3	132.2	1.1	1.9
9196-12703	0.08186	348.0	361.2	347.7	3.8	0.1
9487-3702	0.05382	234.1	240.2	230.0	2.6	1.7
9487-9102	0.04098	178.9	183.4	175.7	2.5	1.8
9497-12705	0.11701	498.8				
9500-1901	0.05081	221.2	228.3	217.3	3.2	1.7
9881-1902	0.02700	118.4	121.5	116.1	2.6	2.0

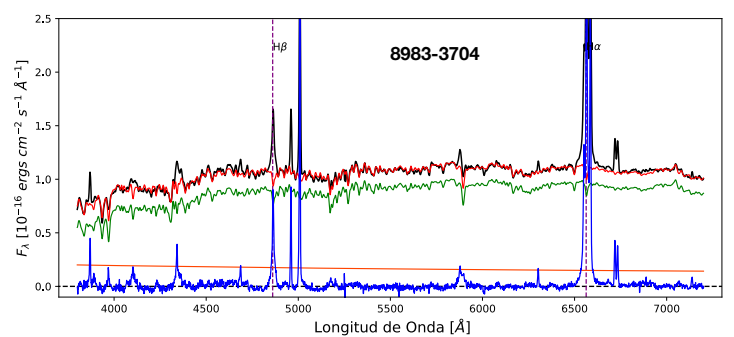
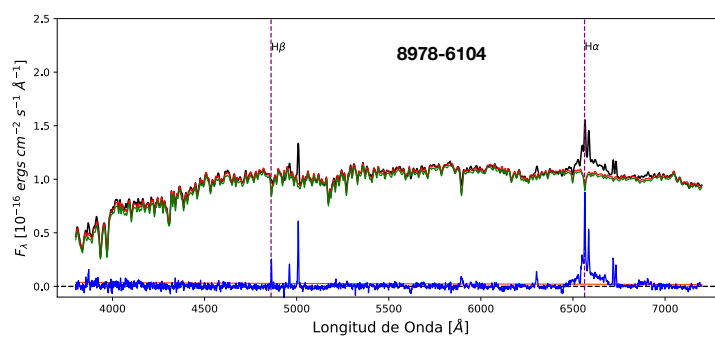
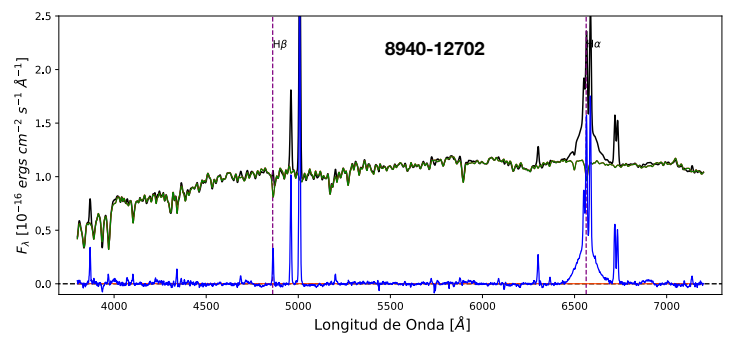
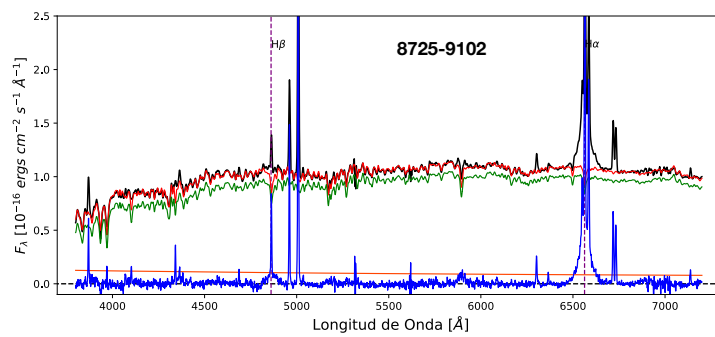
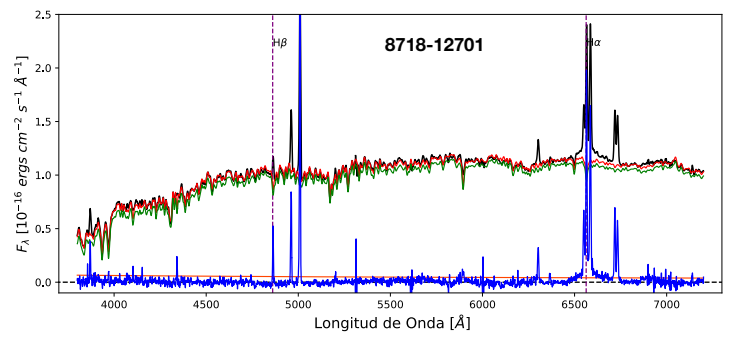
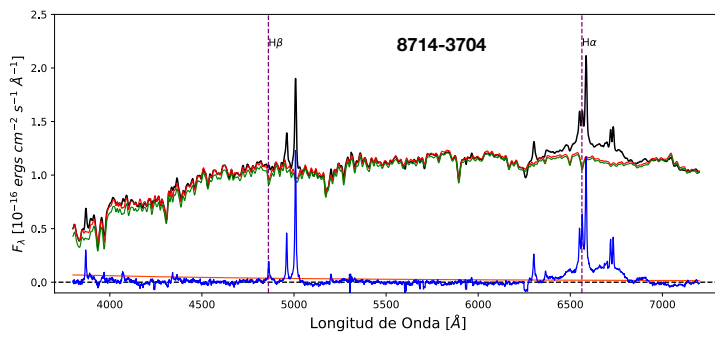
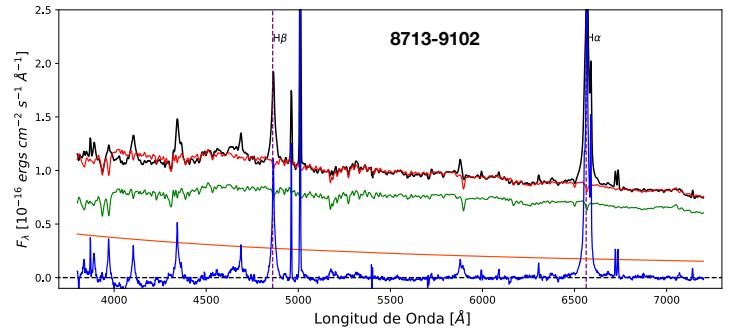
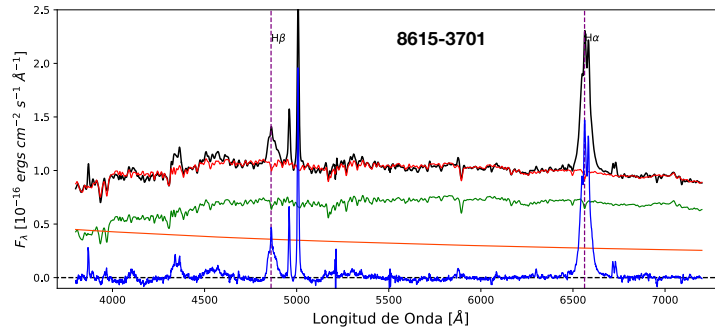
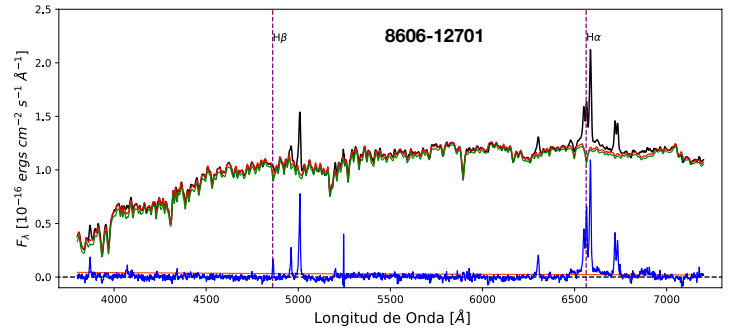
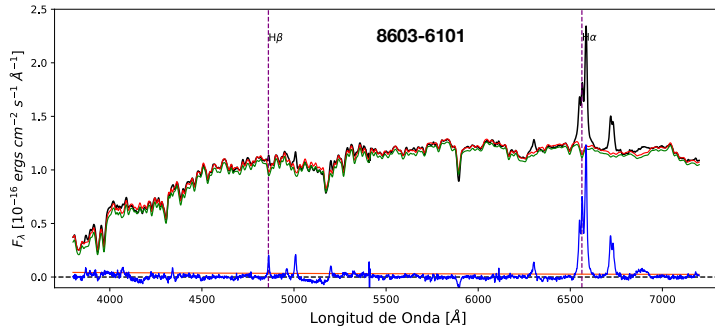
Cuadro A.1: Las distancias comóviles de los 47 AGNs tipo 1. La columna 1 corresponde al MaNGA-ID del objeto. La columna 2 a su corrimiento al rojo. Las columnas 3-5 son las distancias comóviles estimadas con la ecuación de Sulentic et al., 2006, las reportadas por BOSS y las estimadas con *Astropy* utilizando los parámetros cosmológicos de WMAP9, respectivamente. La columna 6 muestra la diferencia porcentual entre las distancias de Sulentic - BOSS y la columna 7 la diferencia porcentual entre las distancias de Sulentic - WMAP9.

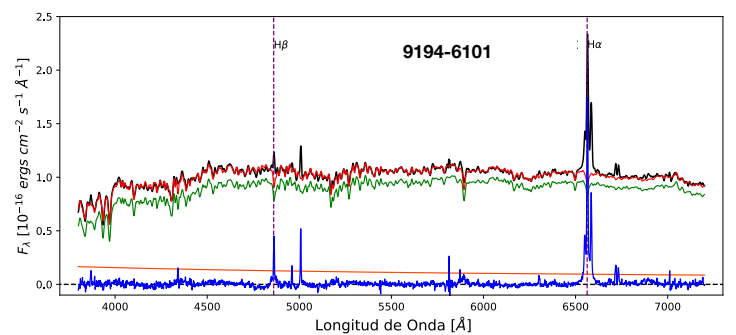
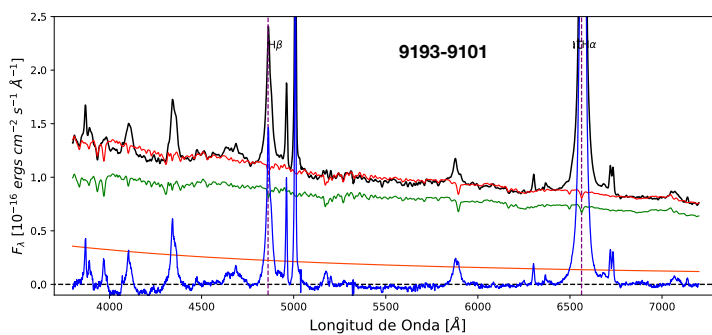
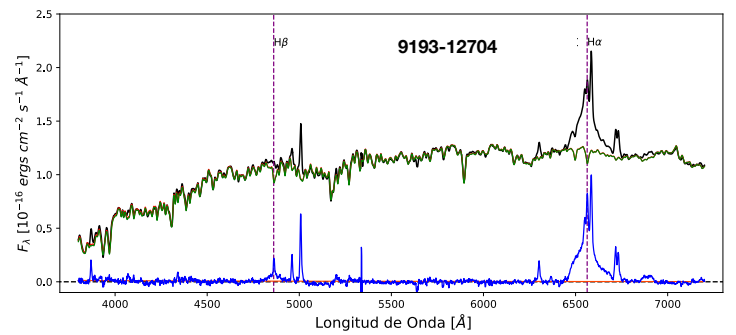
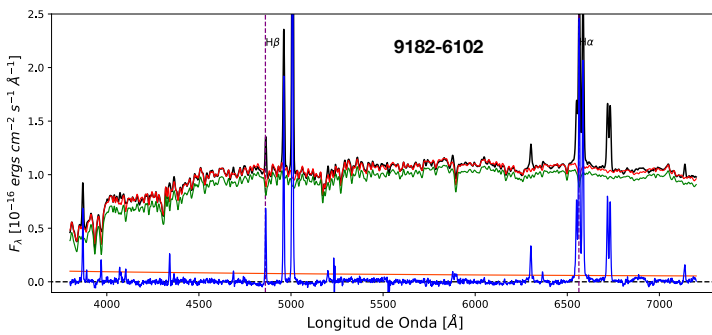
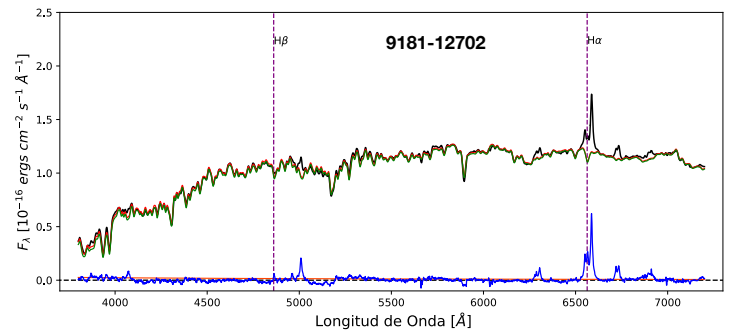
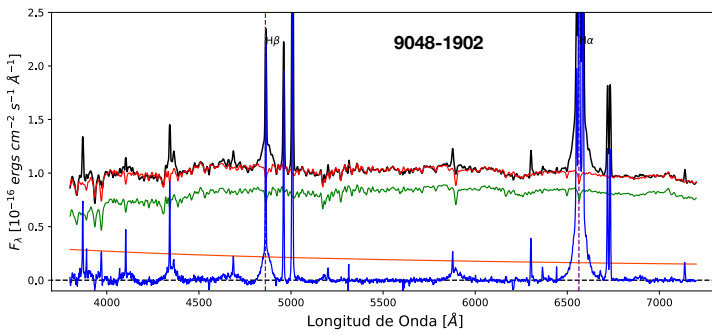
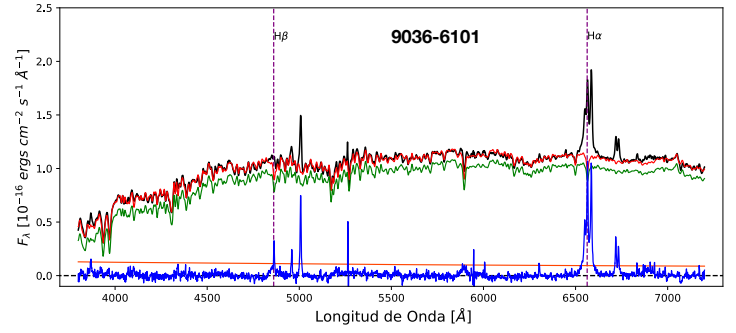
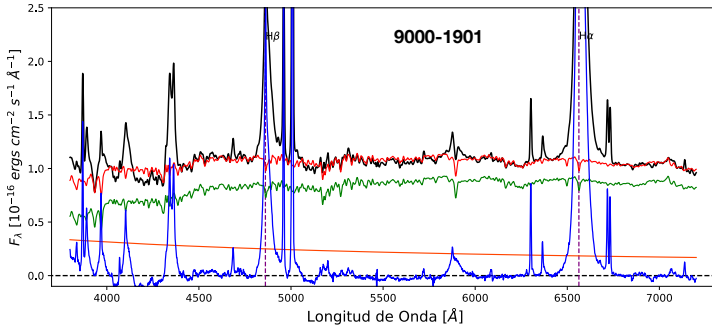
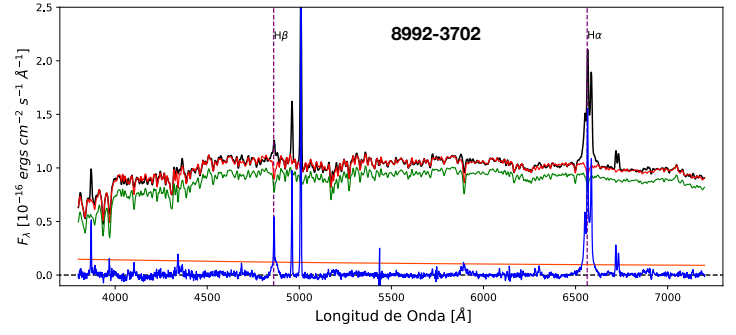
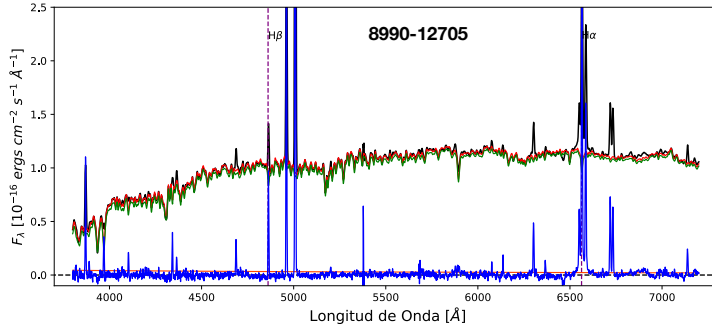
B Ajustes de Starlight

En este apéndice se muestran los espectros resultantes de aplicar Starlight a los 47 AGNs tipo 1. A pesar de que los espectros de MaNGA cubren un amplio intervalo en el espectro, se decidió por hacer esta substracción en el intervalo de 3500-7500 Å para disminuir el ruido del resto del espectro. En cada una de las figuras se muestran el espectro observado (negro), el espectro modelo (rojo), la componente estelar del espectro modelo (verde), el continuo del AGN (naranja) y el espectro residual después de restar al espectro observado el espectro modelo (azul). Las líneas punteadas de color púrpura señalan la localización de $H\alpha$ y $H\beta$.









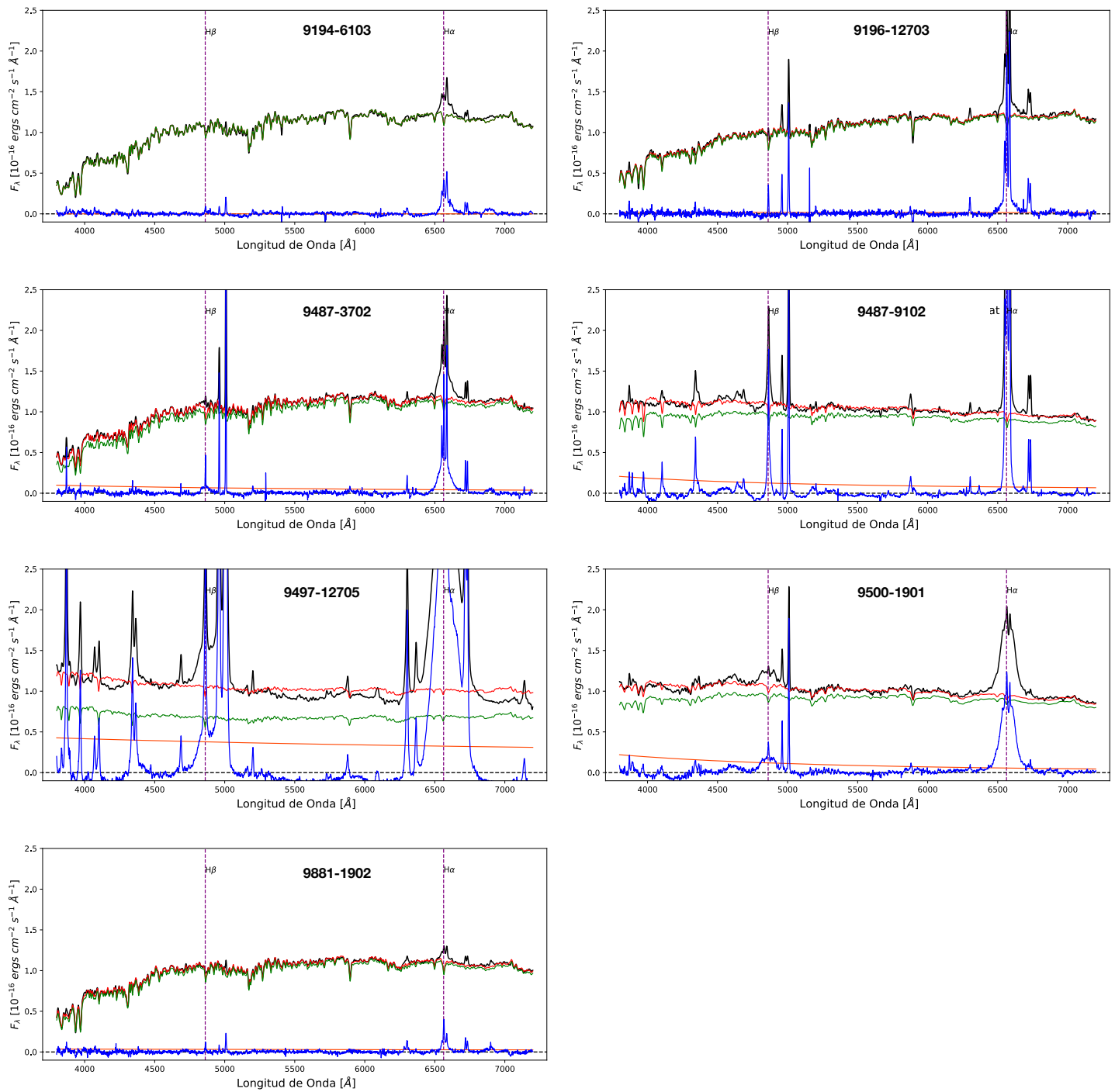
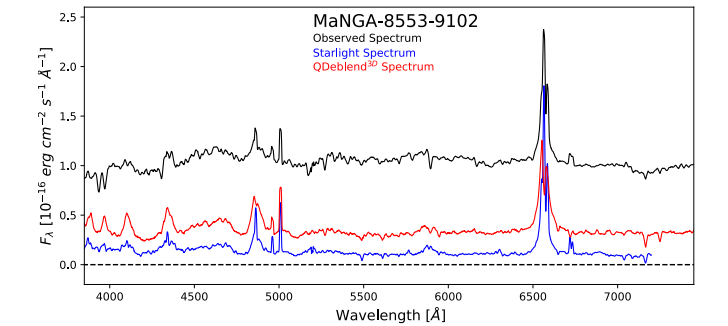
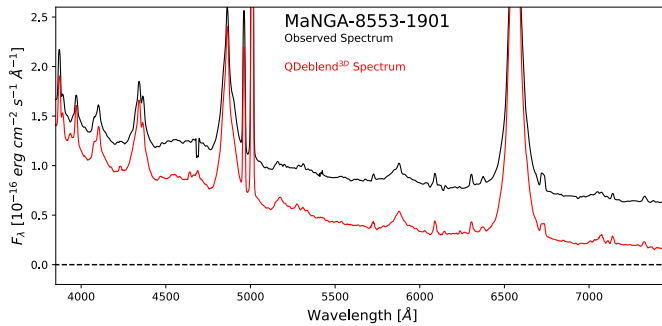
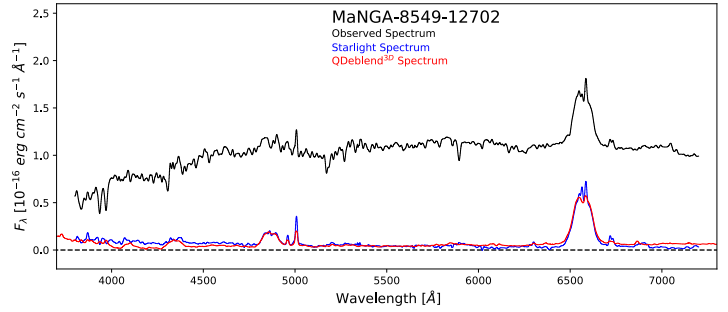
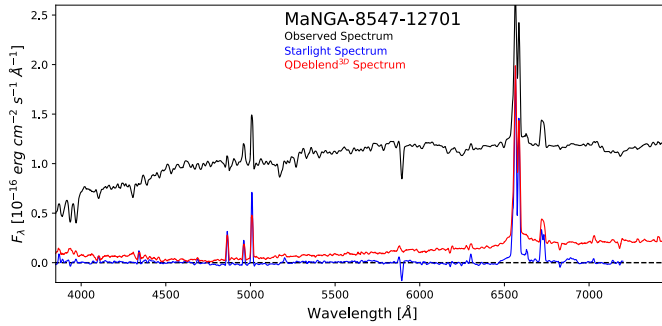
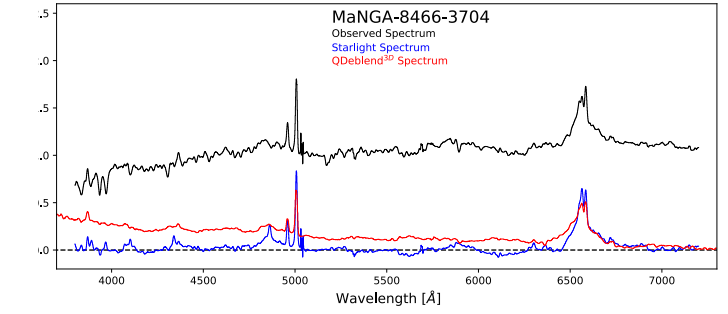
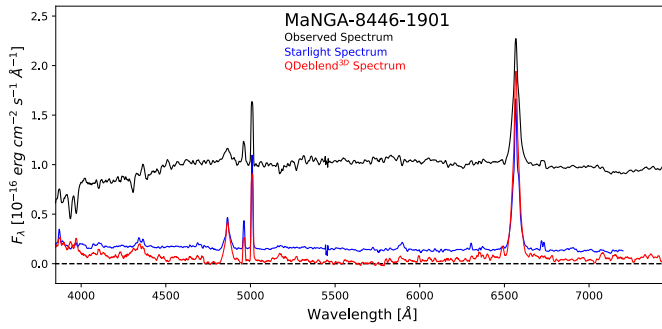
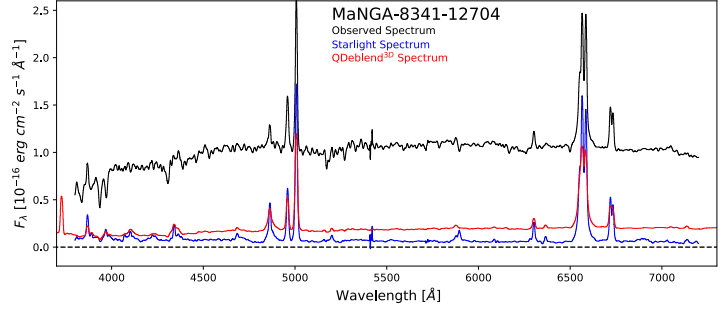
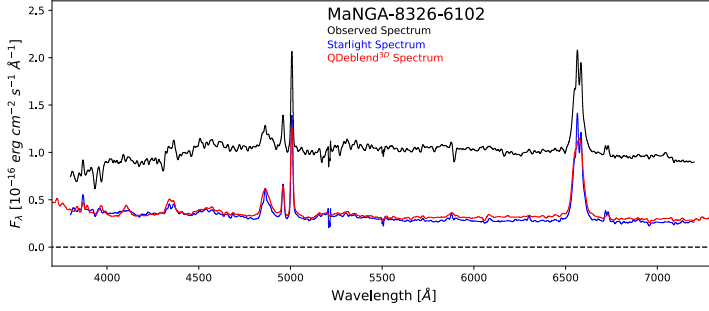
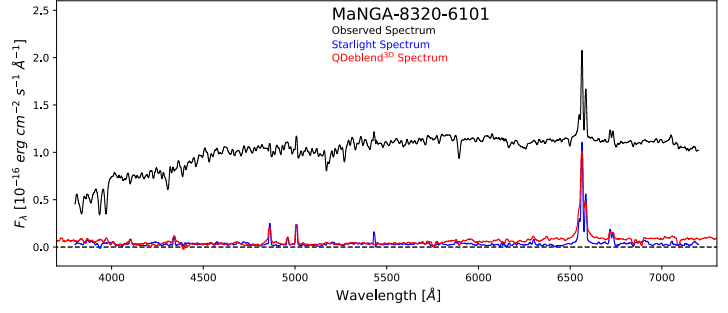


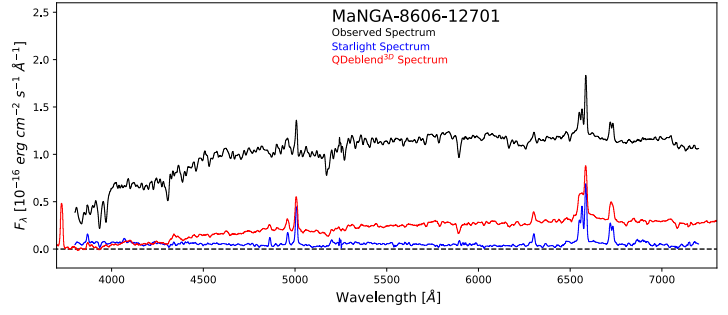
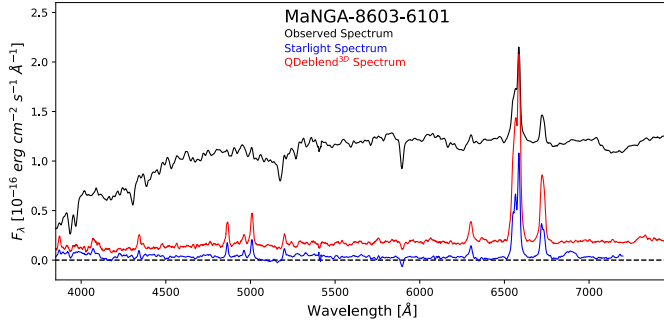
Figura B.1: Los ajustes de Starlight para los 47 AGNs tipo 1.

C Ajustes de QDeblend3D y comparación con Starlight

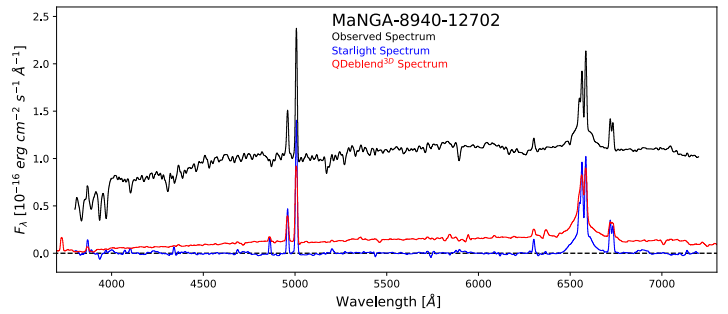
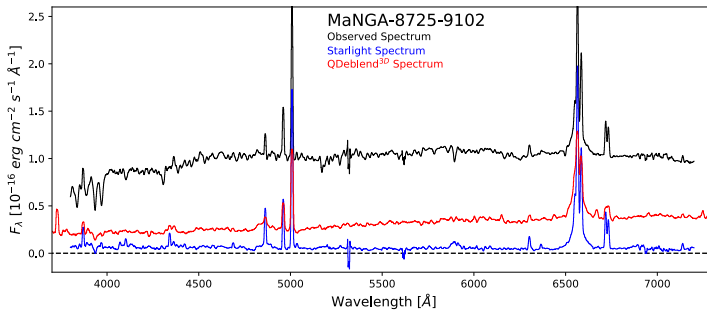
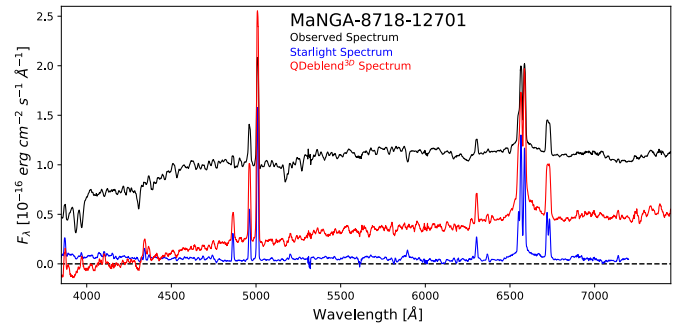
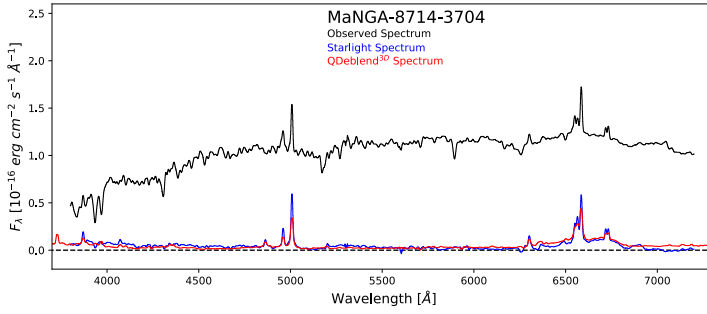
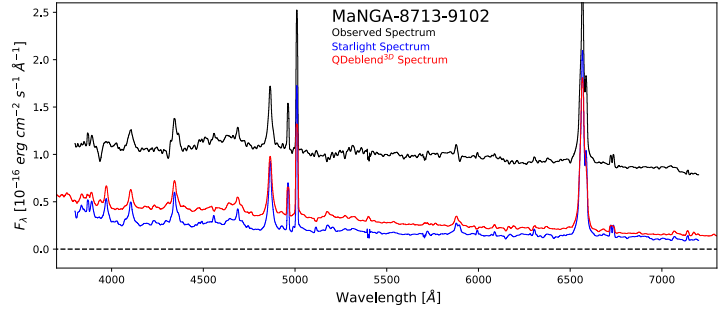
En este apéndice se muestran la comparación de los espectros resultantes de aplicar Starlight y QDeblend3D a 39 de los 47 AGNs tipo 1. La falta de 8 objetos se debe a la complejidad de realizar una buena descomposición bidimensional con Galfit para obtener los perfiles de brillo superficial y hacer un buen ajuste con QDeblend3D. A falta de ellos, se utilizaron los resultados de Starlight para realizar la estimación de los parámetros de los núcleos activos. . En cada una de las figuras se muestran el espectro observado (negro), el espectro residual de Starlight (azul), y el espectro residual de QDeblend3D (rojo).

8241-9102

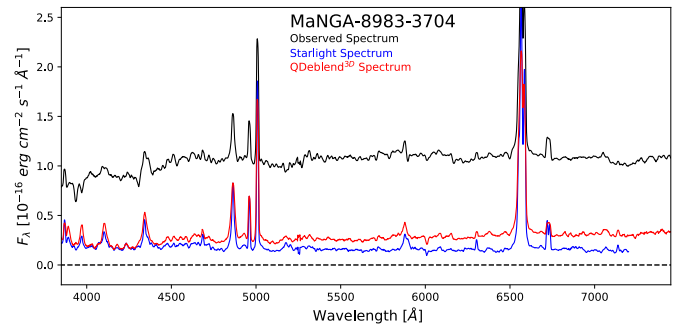


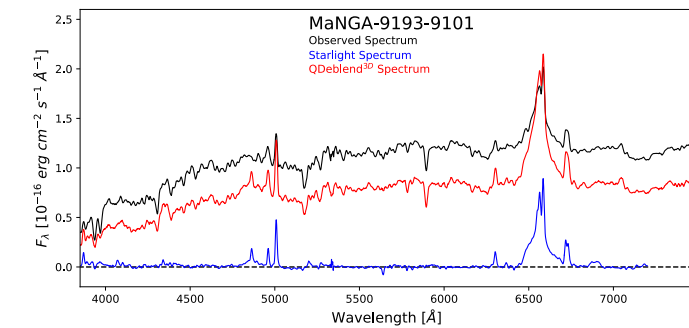
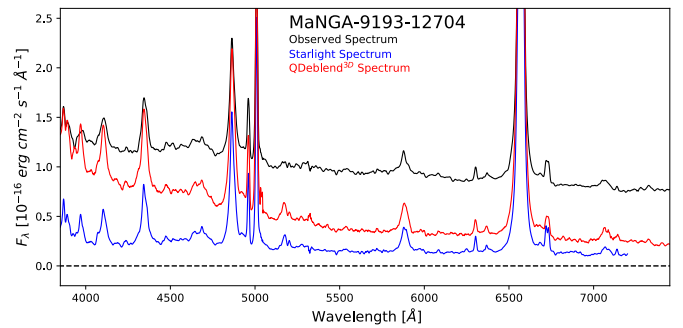
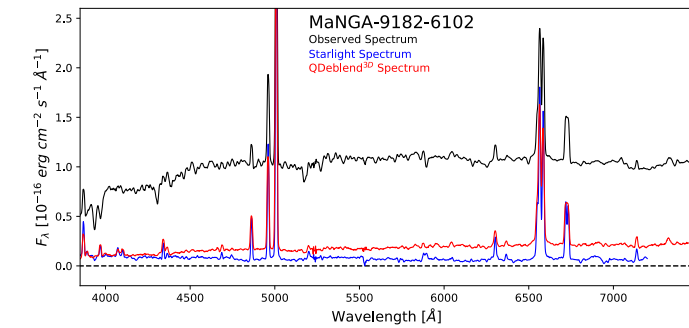
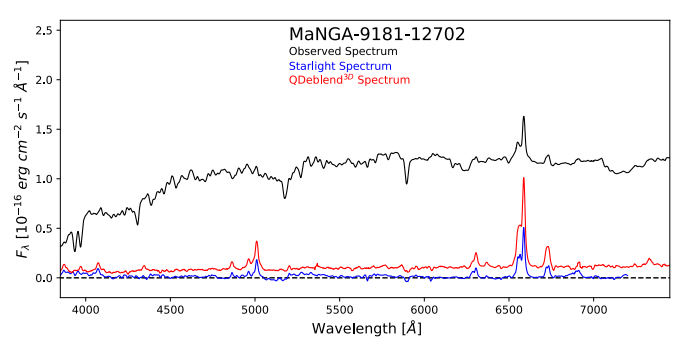
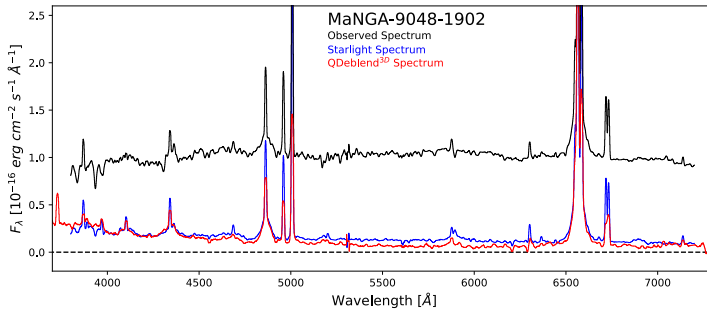
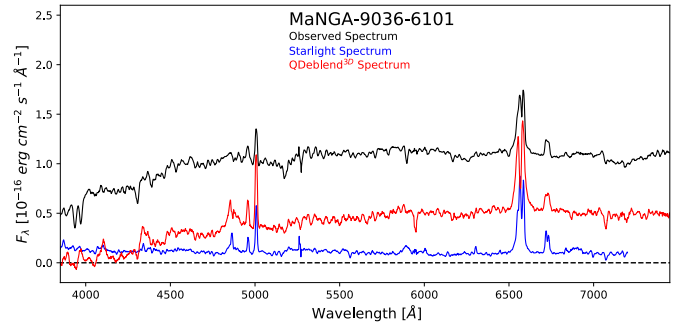
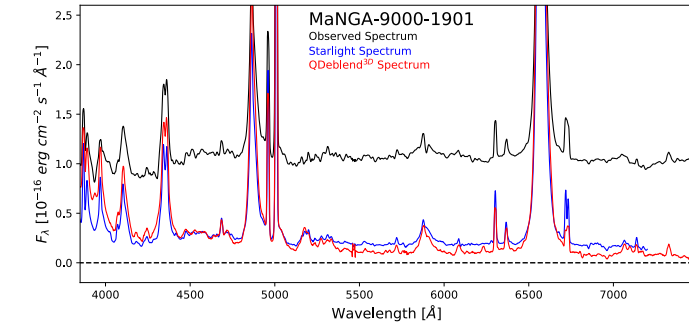
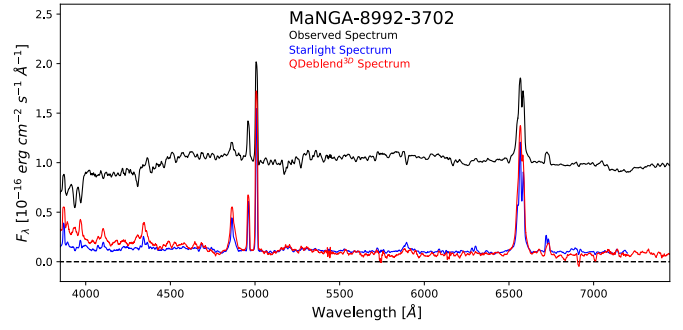
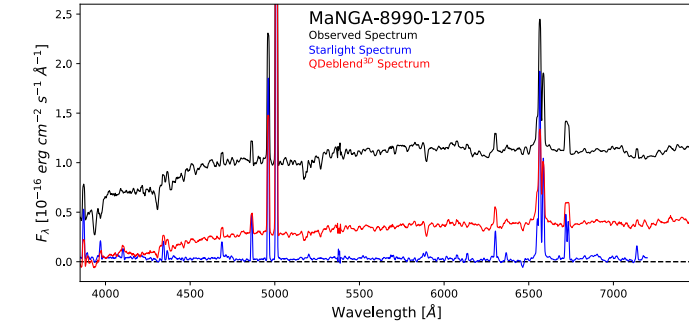


8615-3701

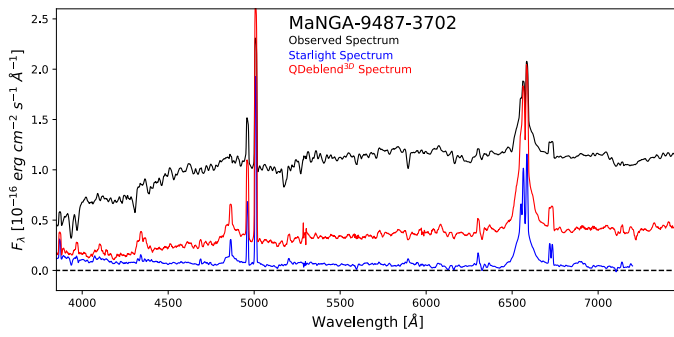
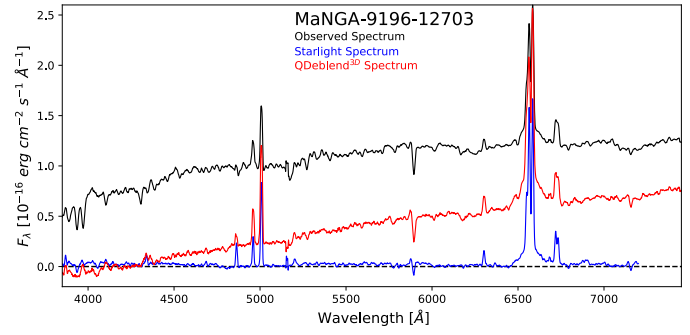
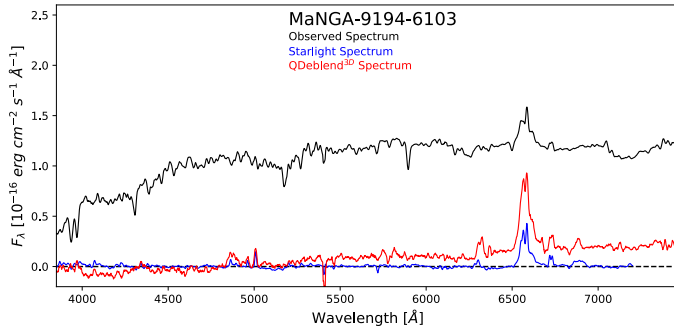


8978-6104





9194-6101



9487-9102

9497-12705

9500-1901

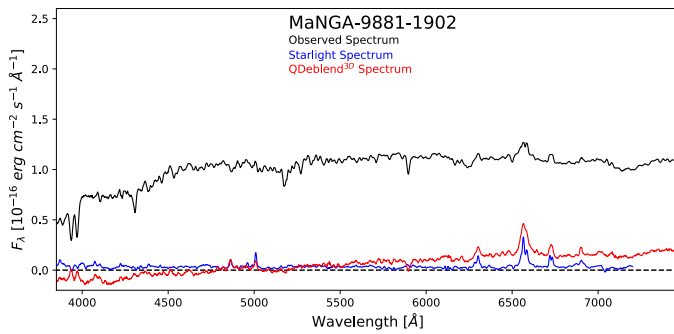
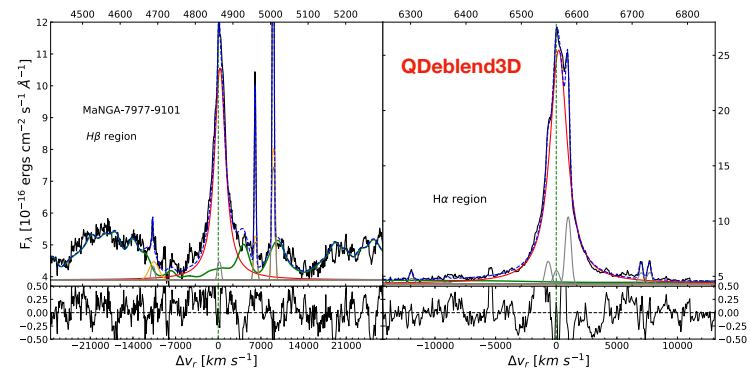
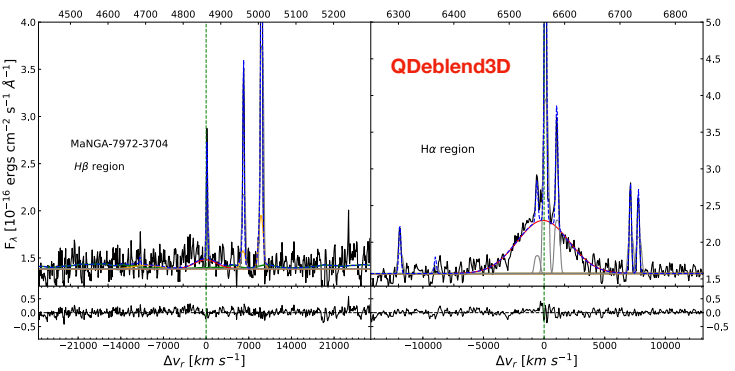
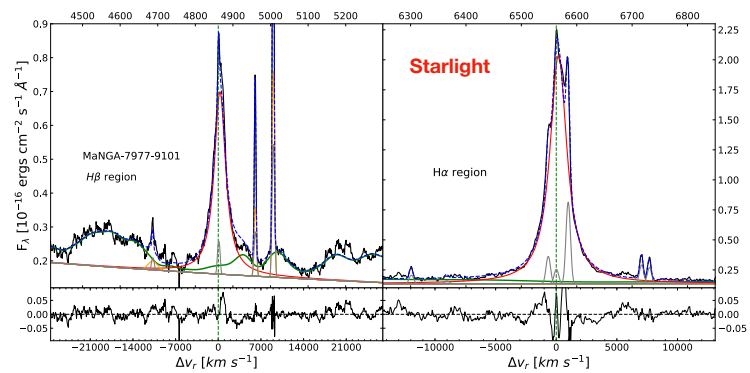
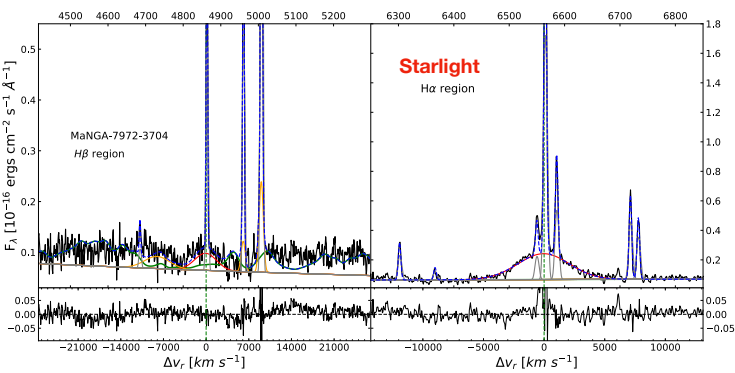
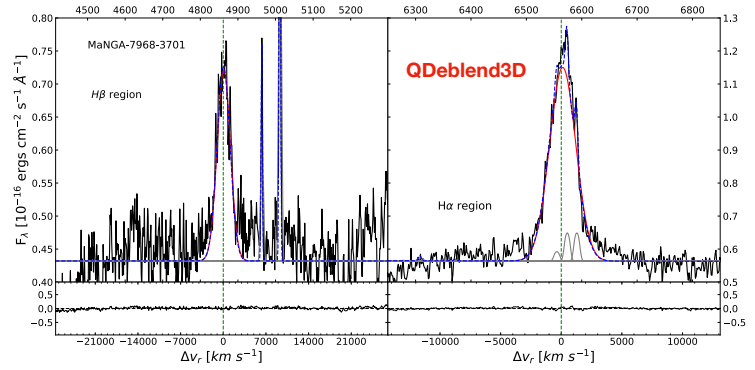
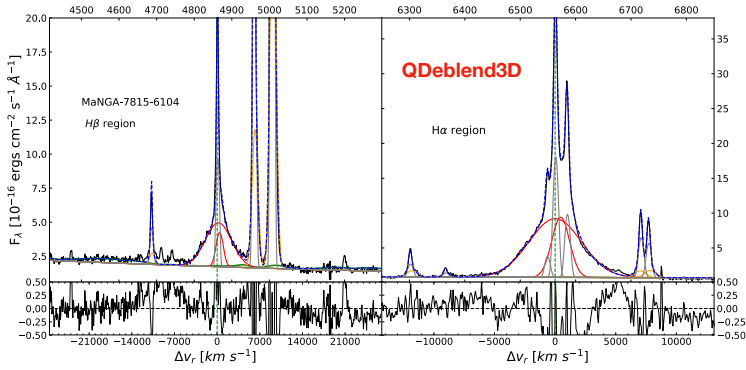
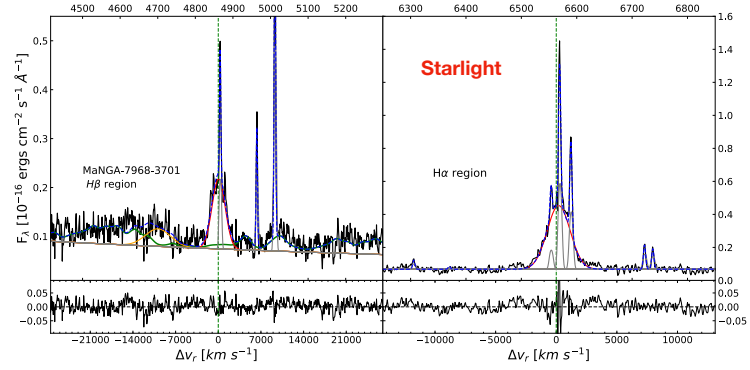
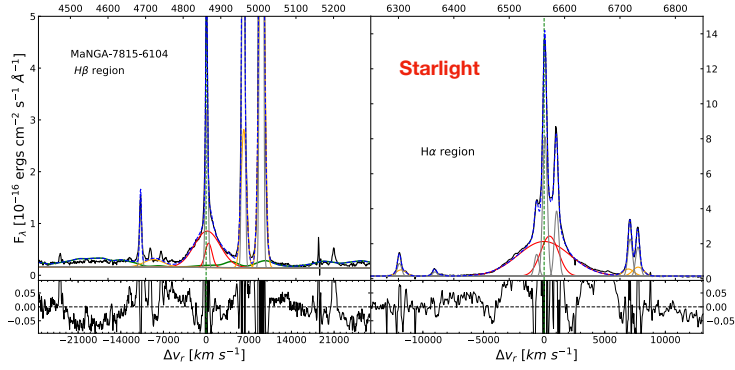
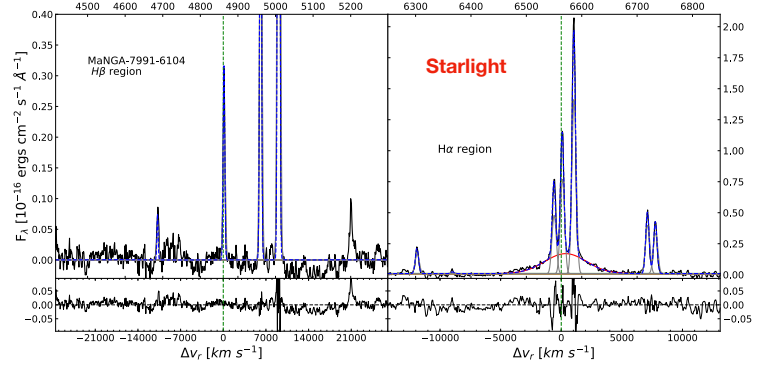
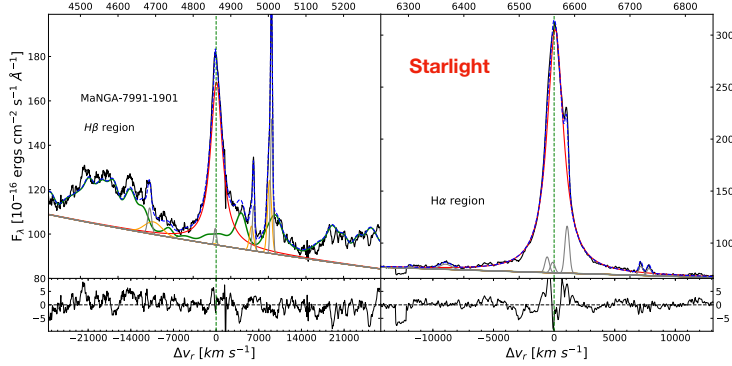


Figura C.1: Los resultados de realizar la sustracción estelar con Starlight (azul) y QDeblend3D (rojo).

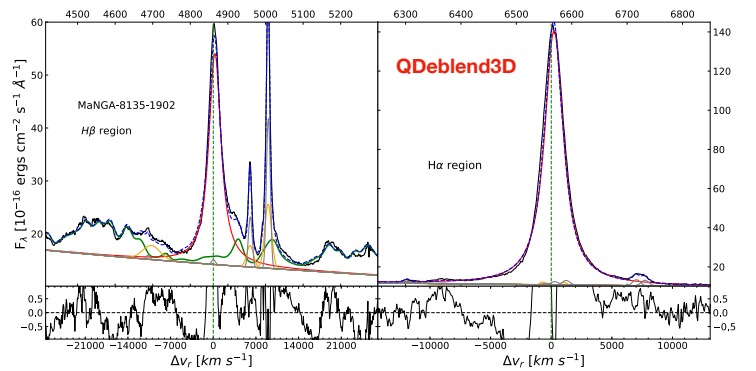
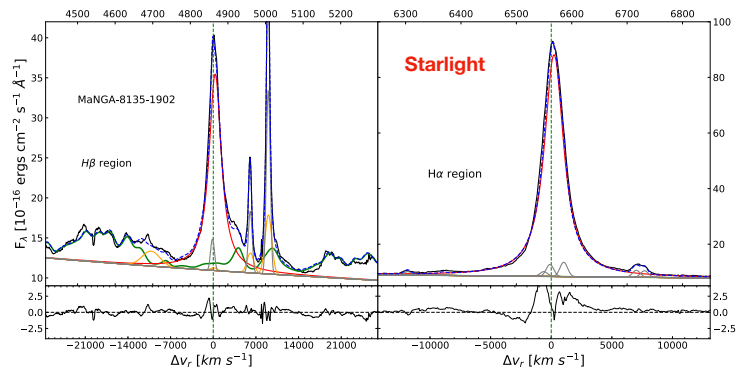
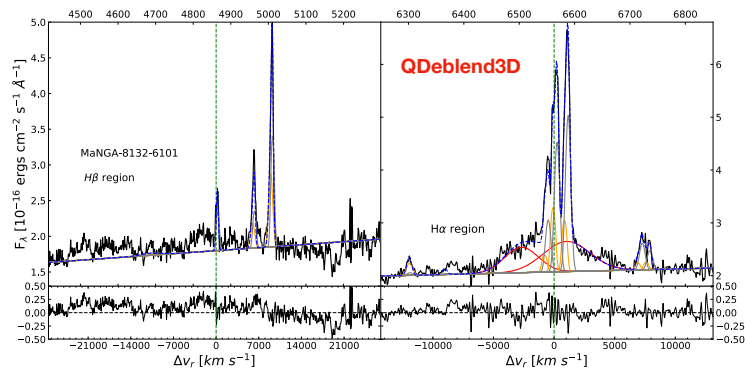
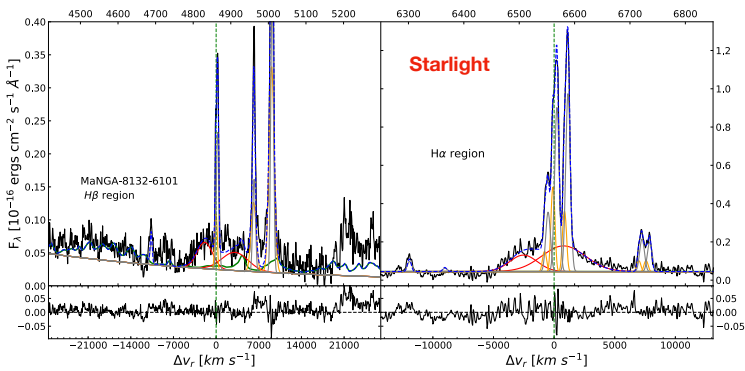
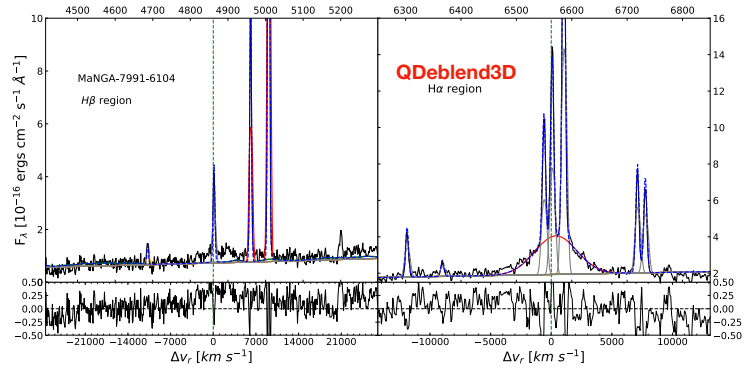
D Ajustes de las líneas de emisión

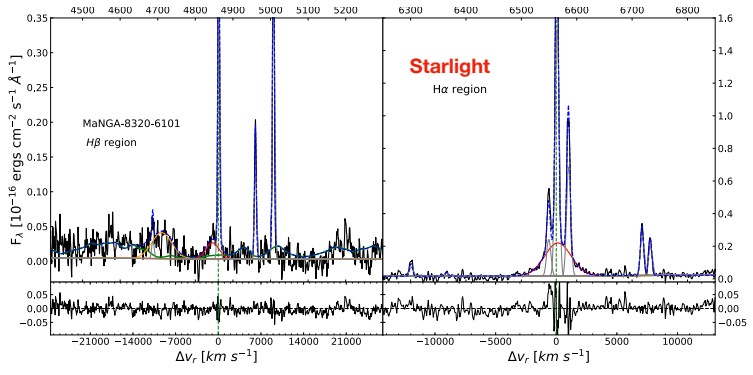
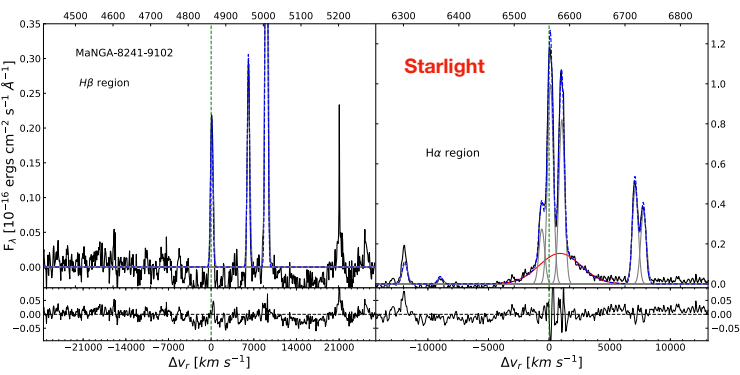
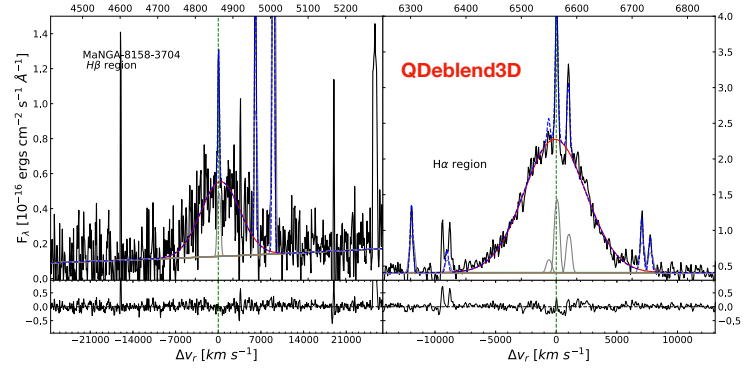
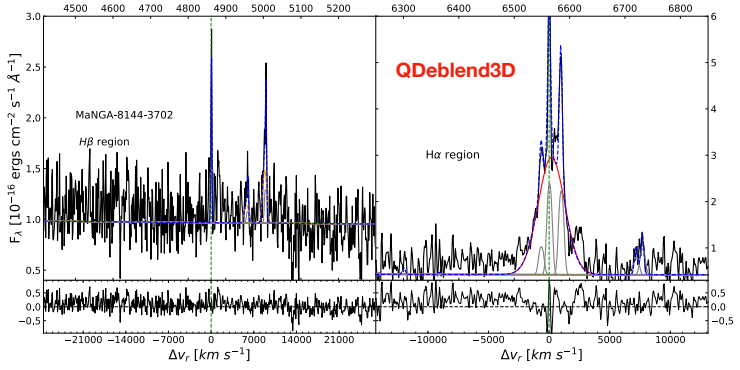
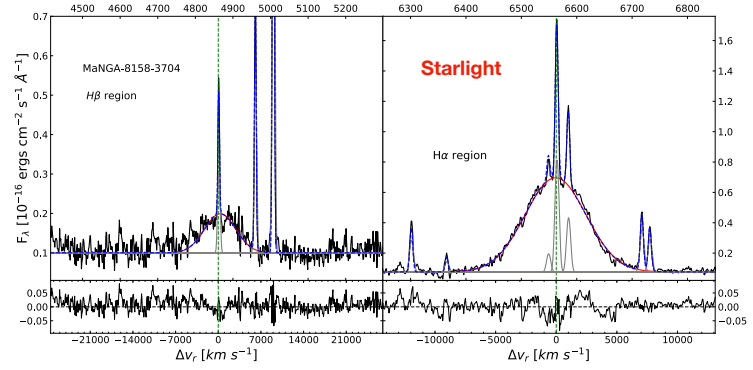
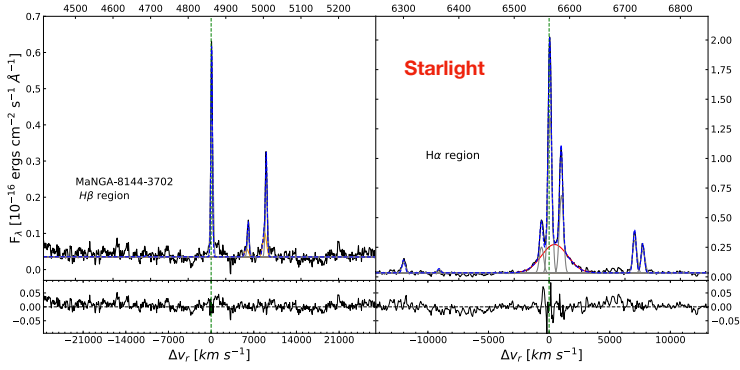
En este apéndice se muestran el resto de los ajustes de las líneas de emisión para la derivación de los parámetros de los núcleos activos. Cada página muestra 4 galaxias con el respectivo ajuste utilizando tanto el espectro residual de Starlight como el de QDeblend3D, salvo en 8 casos donde no se pudo obtener este último. Las líneas punteadas de color azul sirven para separar el par de ajustes realizados en cada galaxia. Tal y como se describió en la sección 4.3, los paneles muestran el espectro residual a ajustar (negro), el mejor espectro modelo (azul), las líneas delgadas (gris y amarillo si hay una segunda componente), las líneas anchas (rojo) y la emisión de FeII (verde).



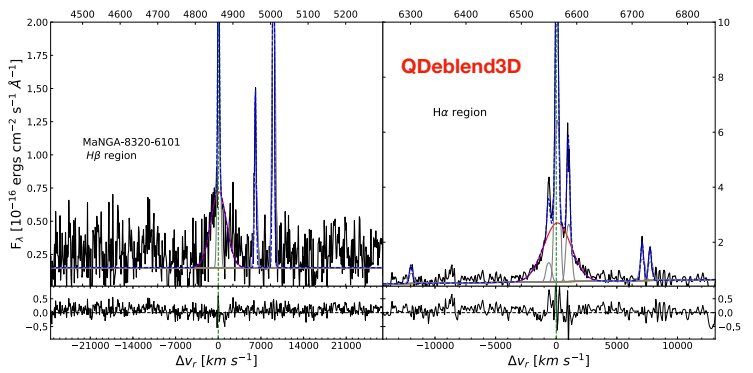


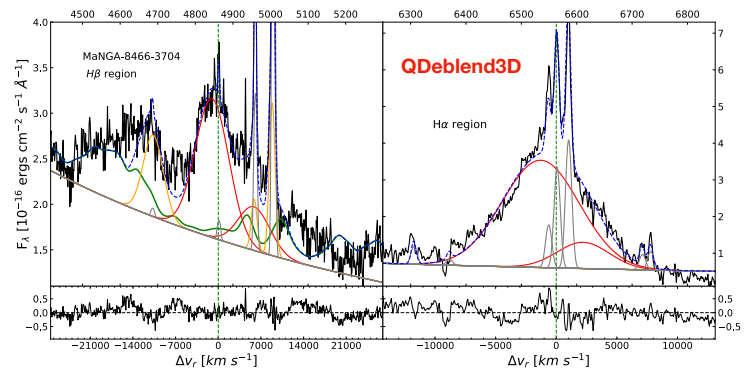
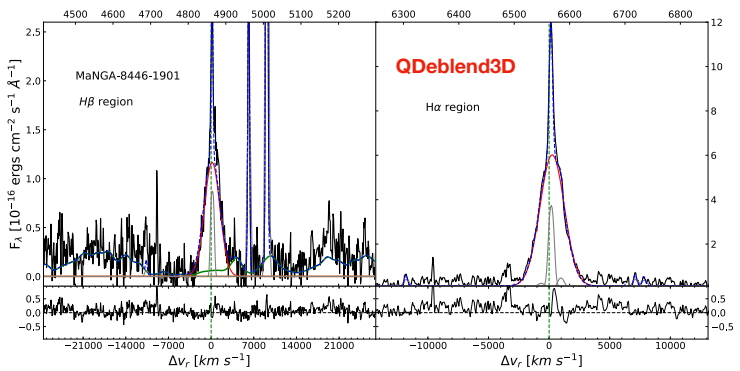
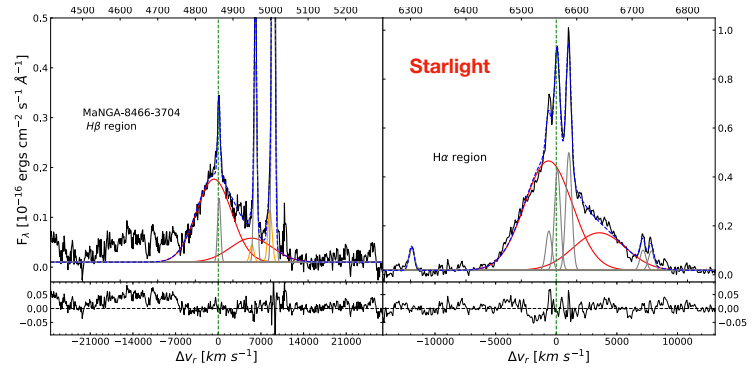
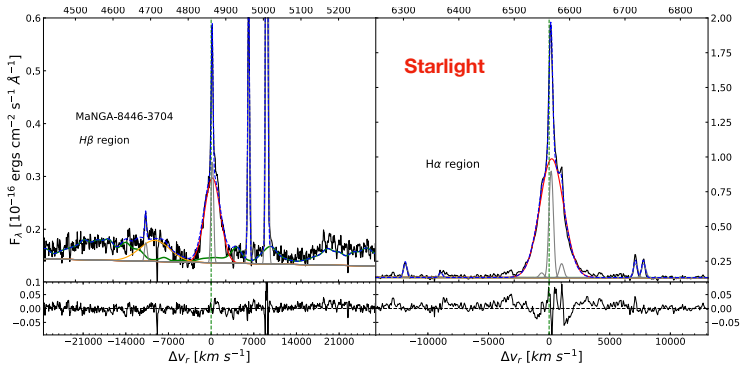
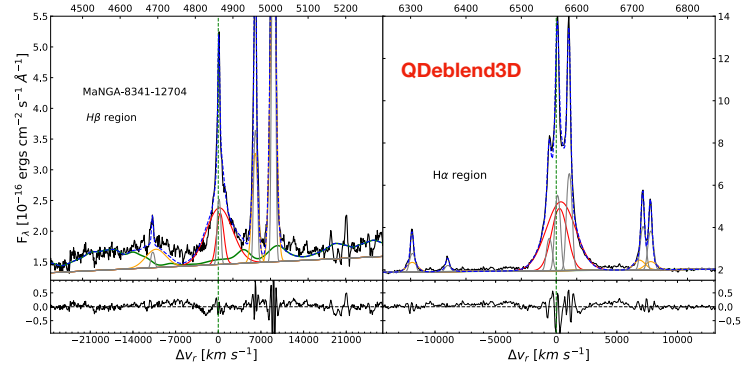
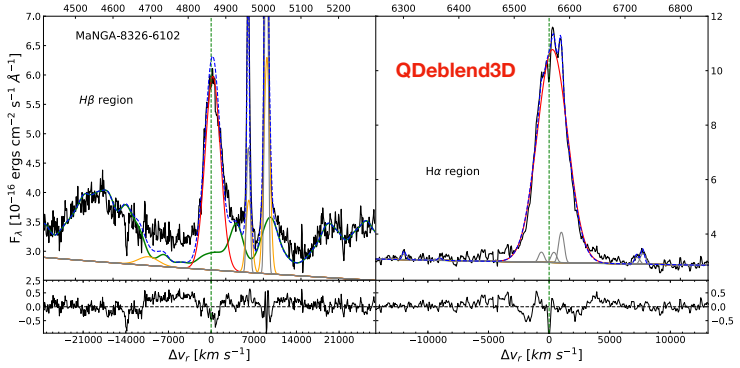
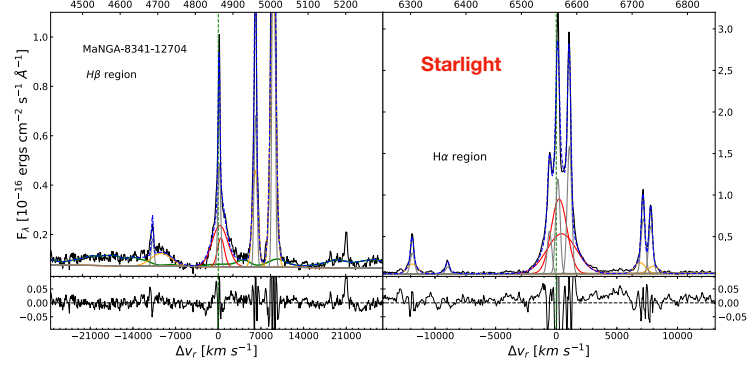
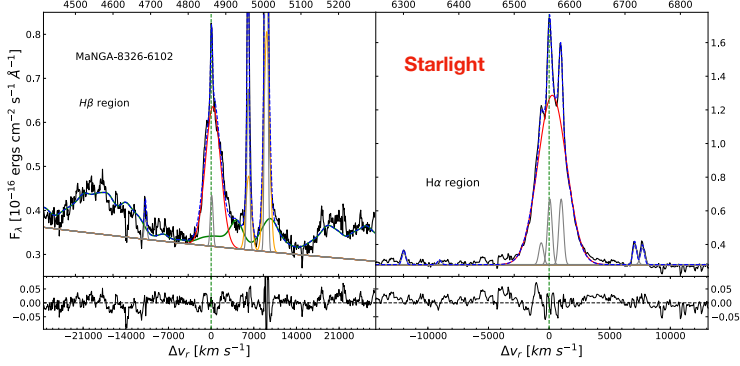
QDeblend3D

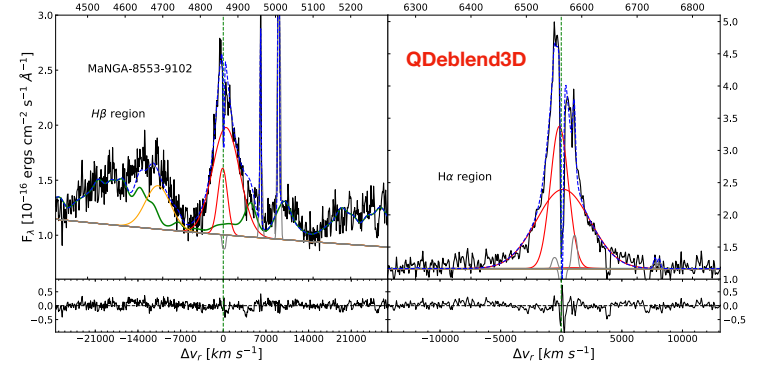
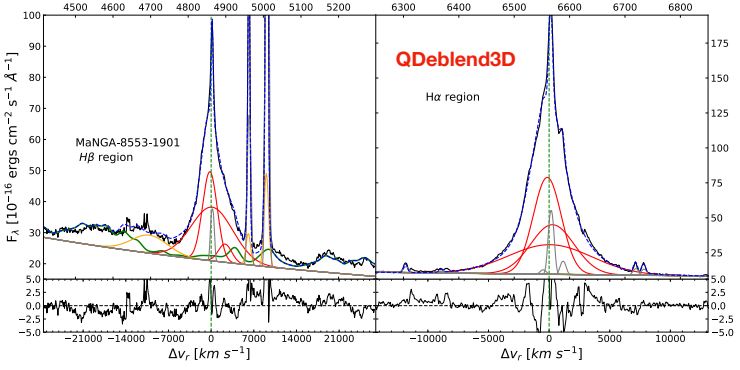
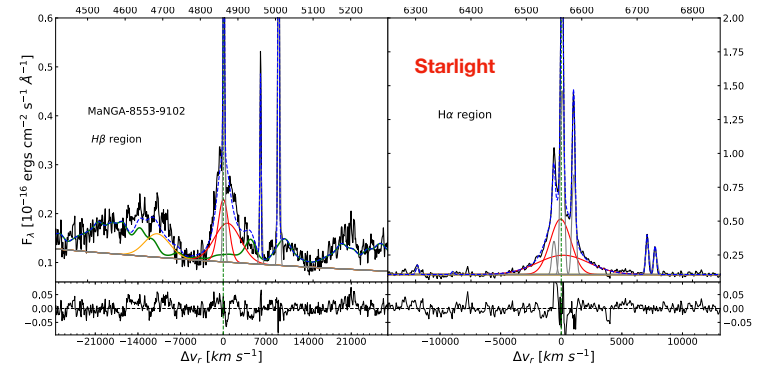
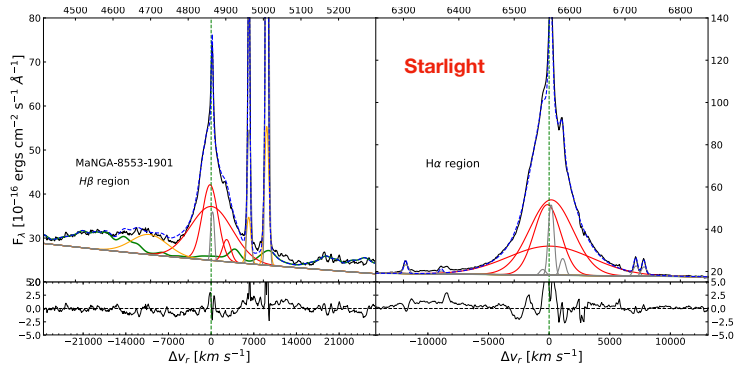
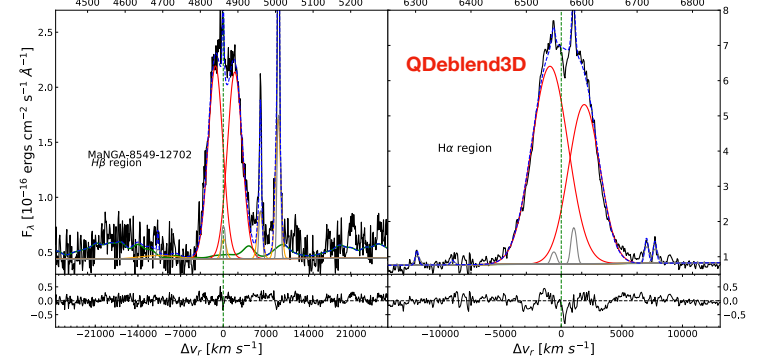
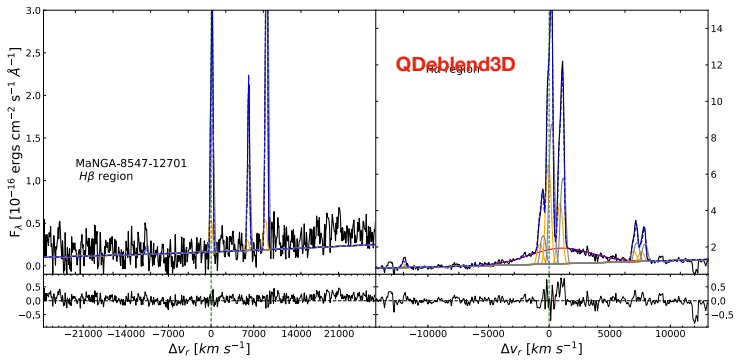
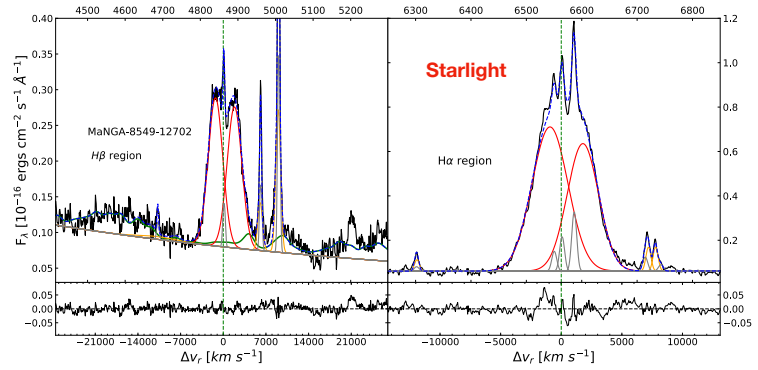
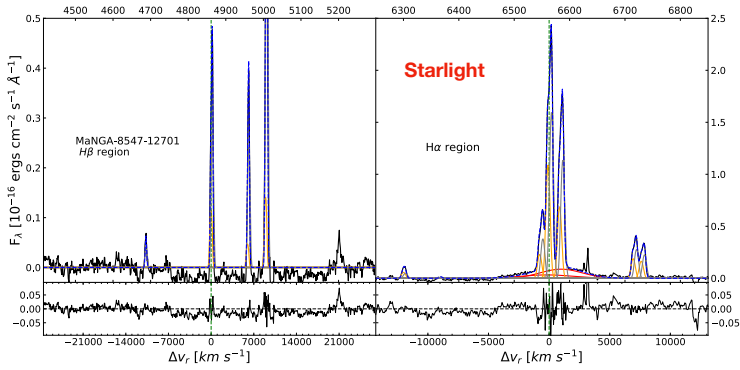


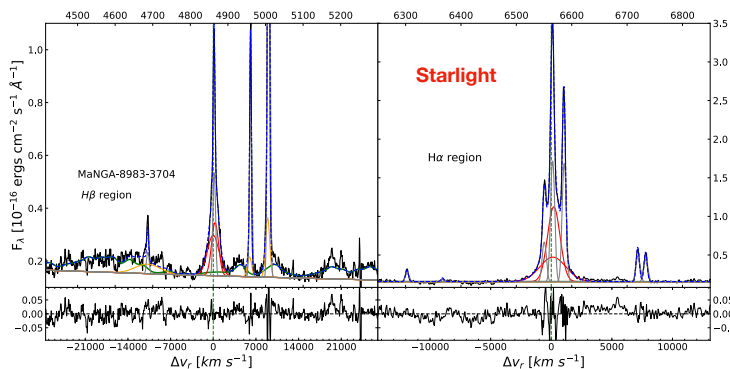
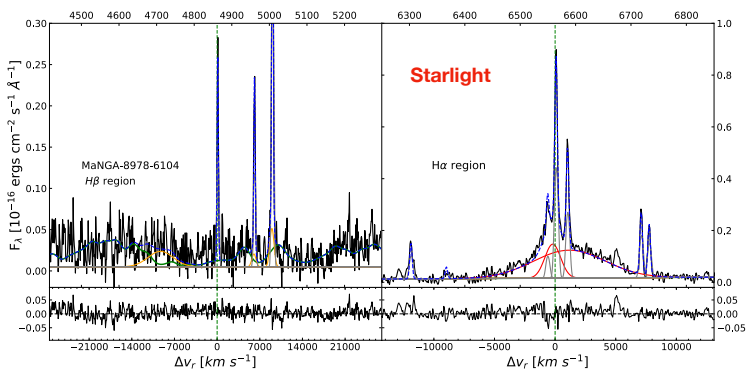


QDeblend3D

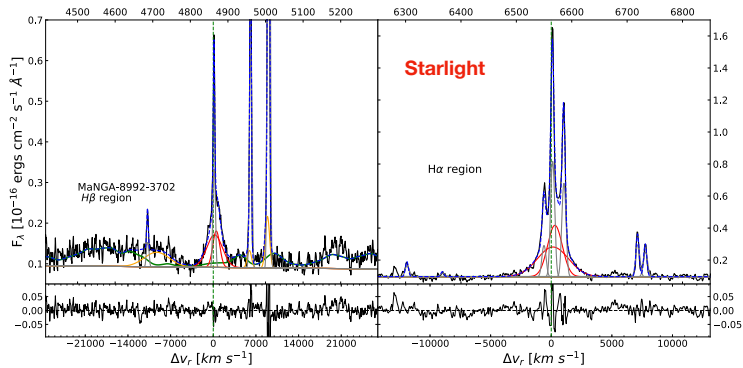
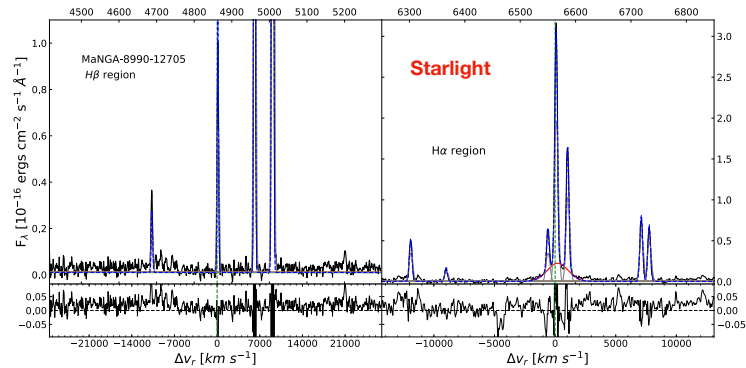
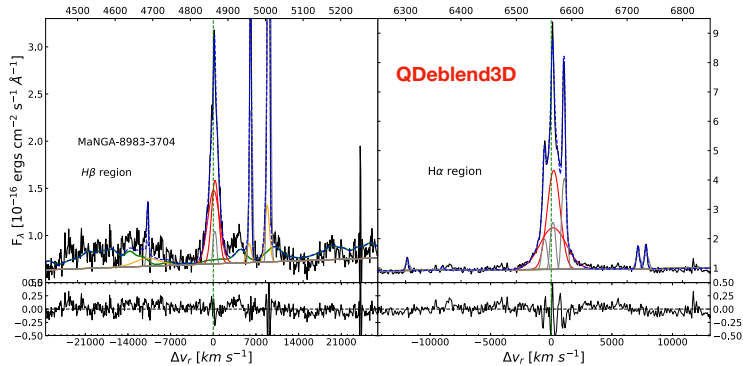




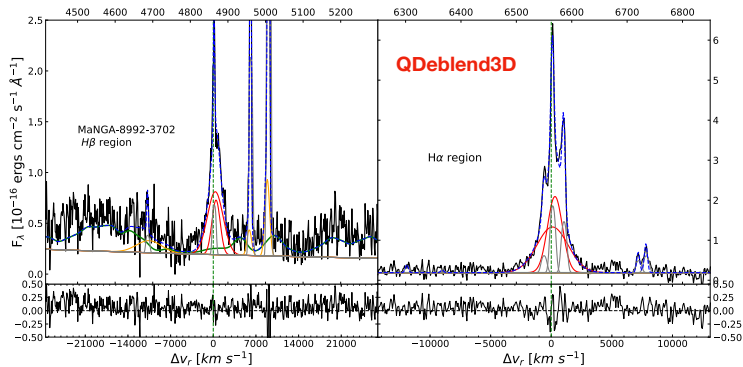
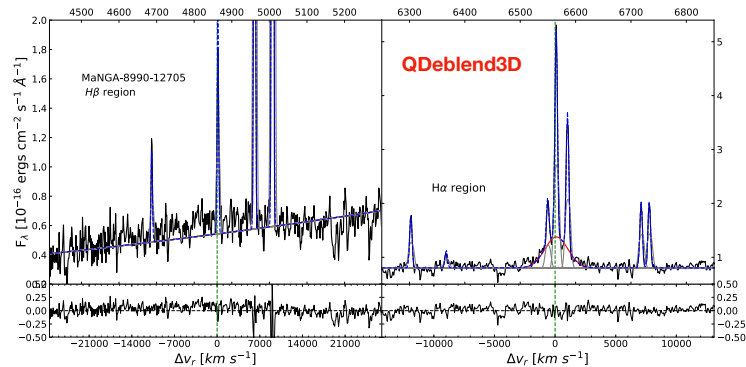


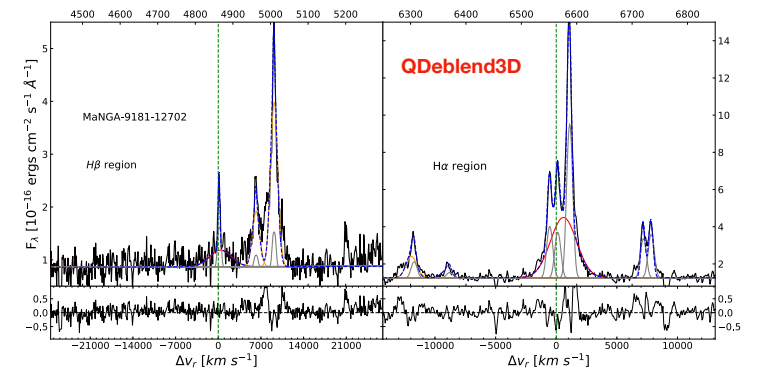
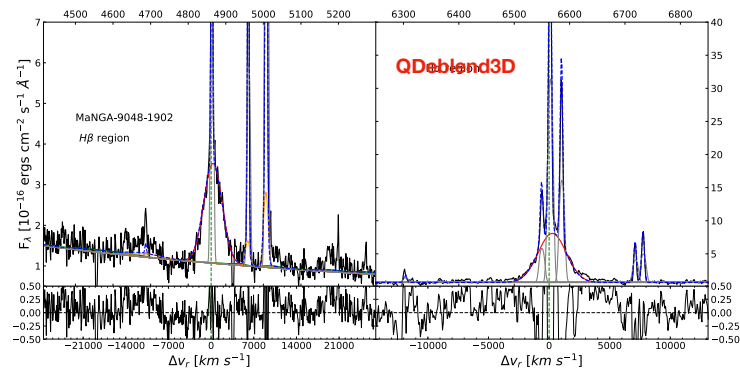
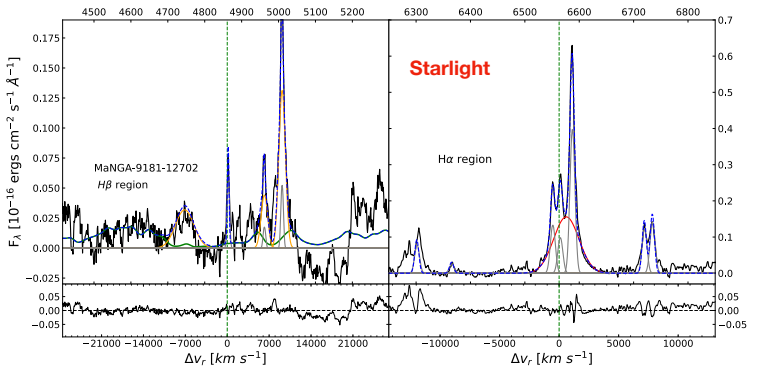
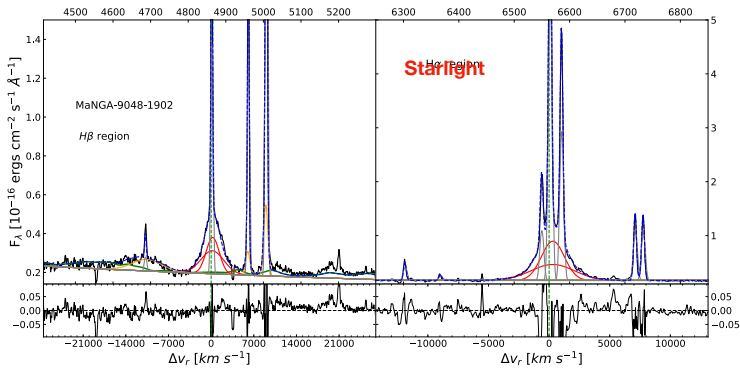
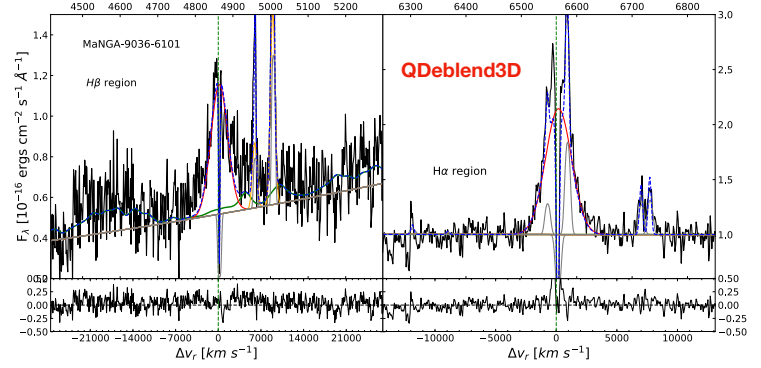
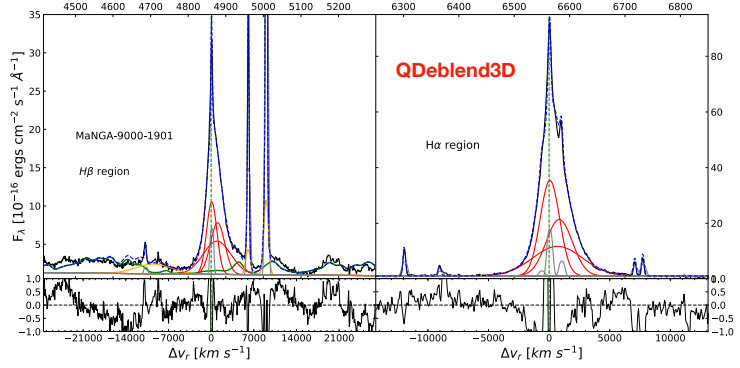
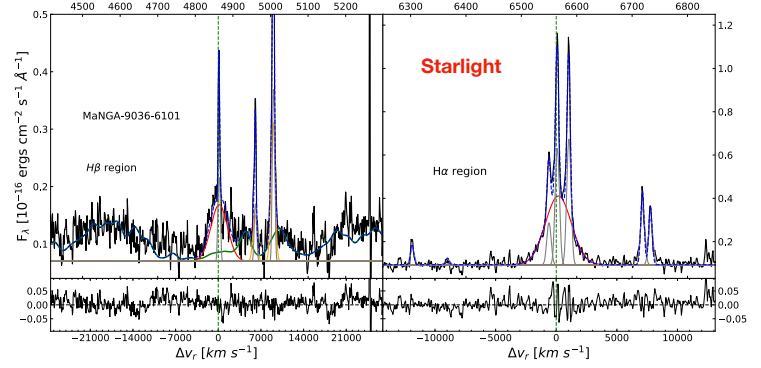
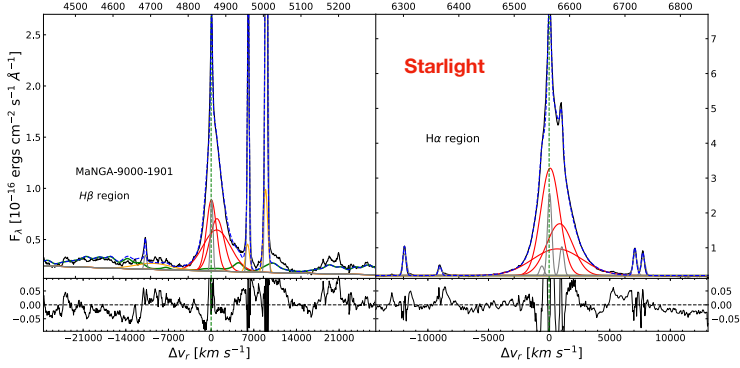


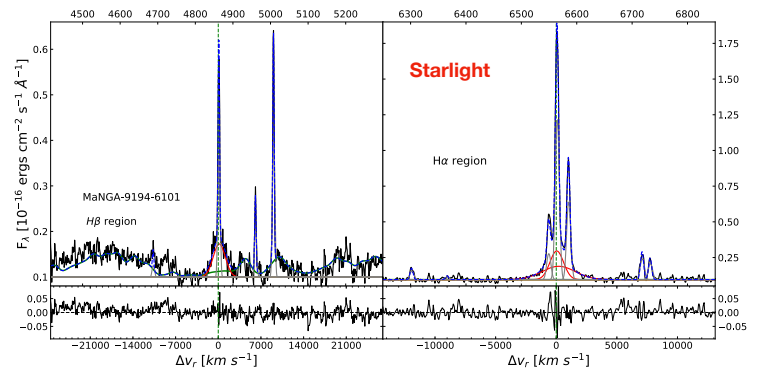
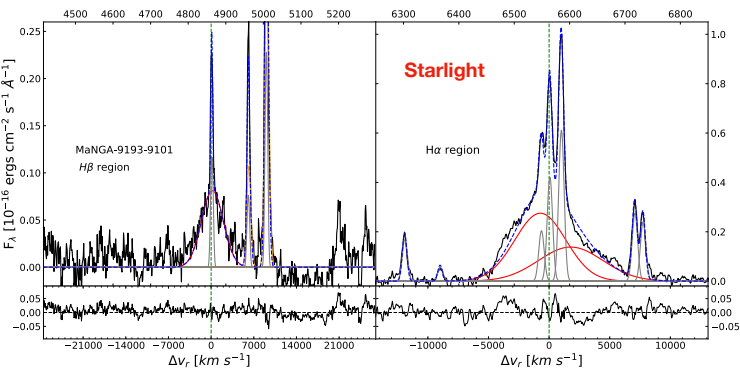
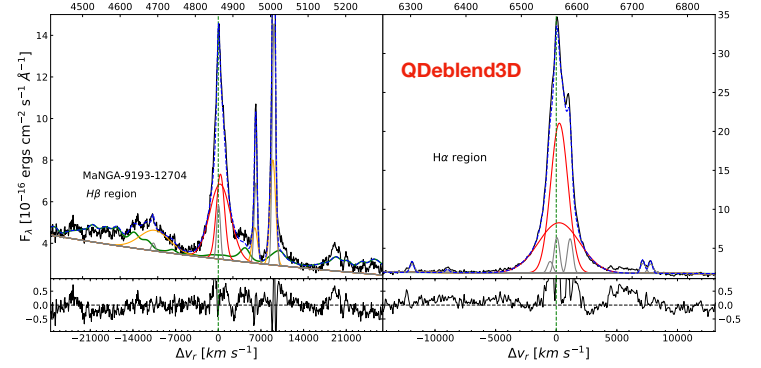
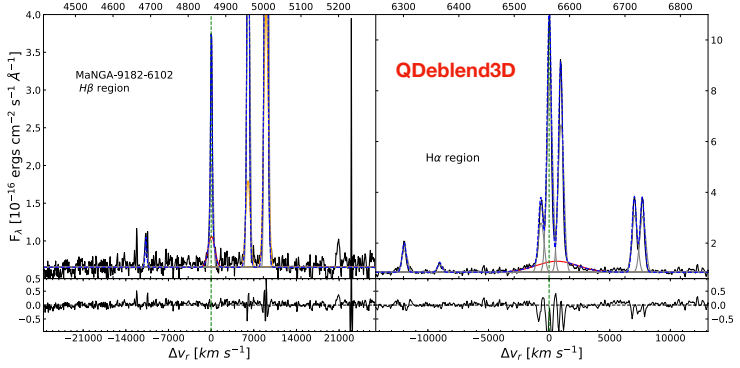
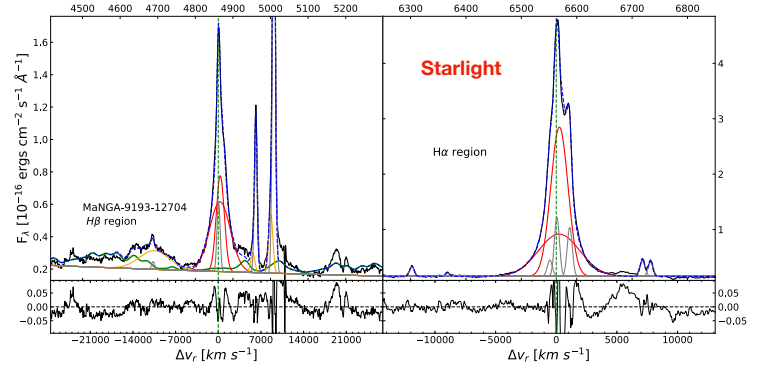
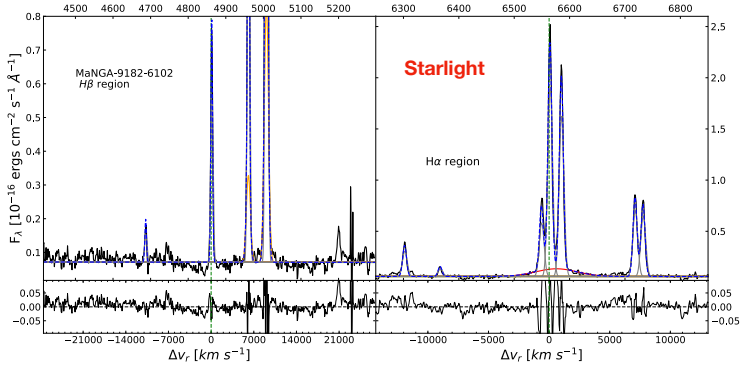
QDeblend3D



QDeblend3D

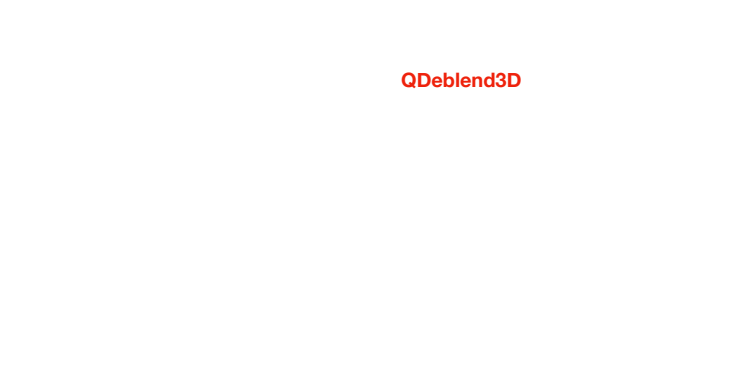
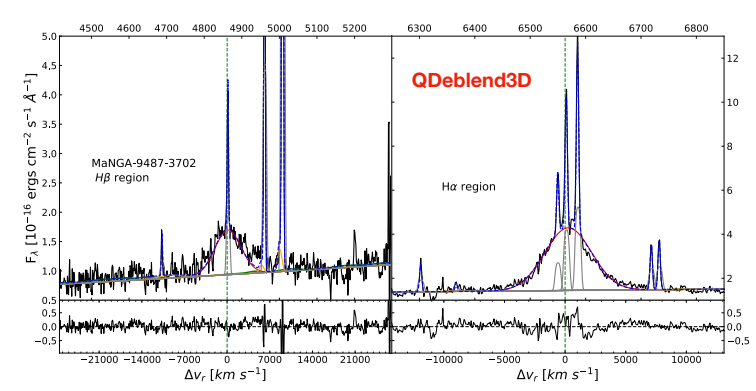
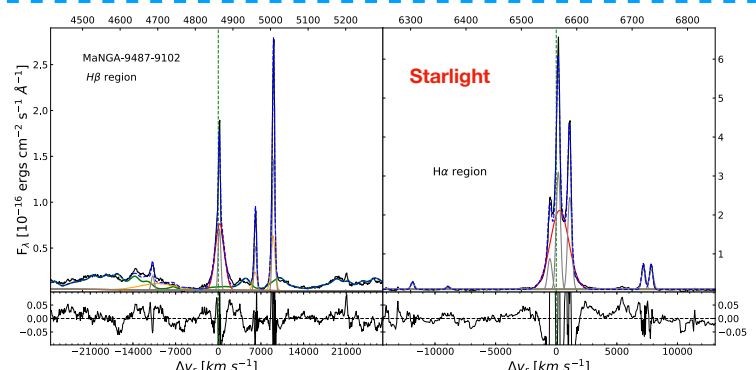
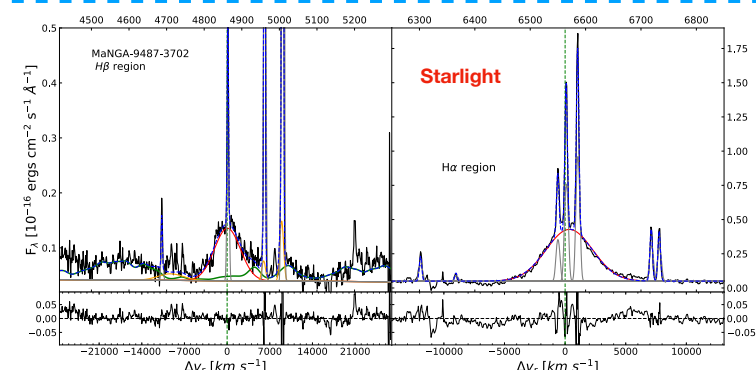
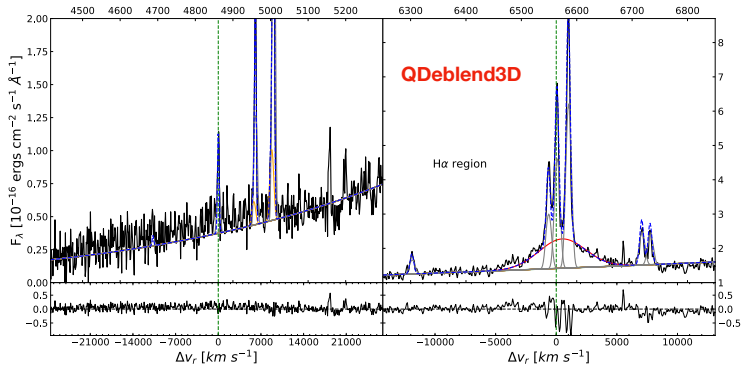
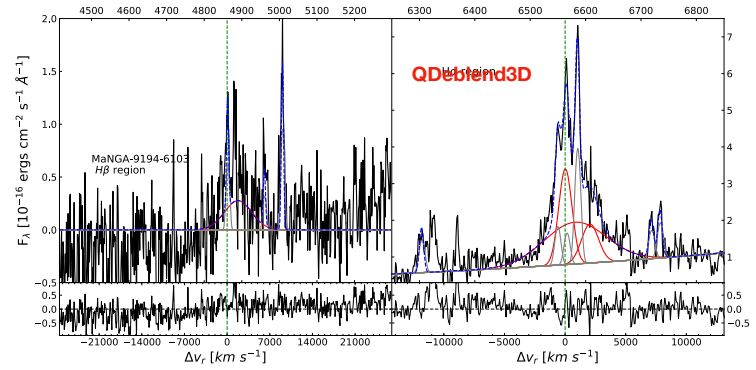
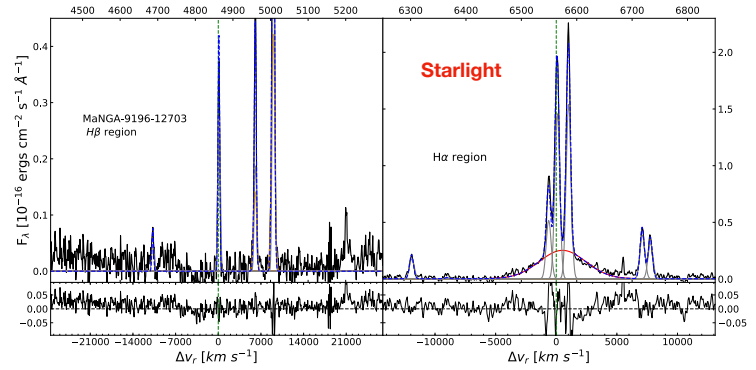
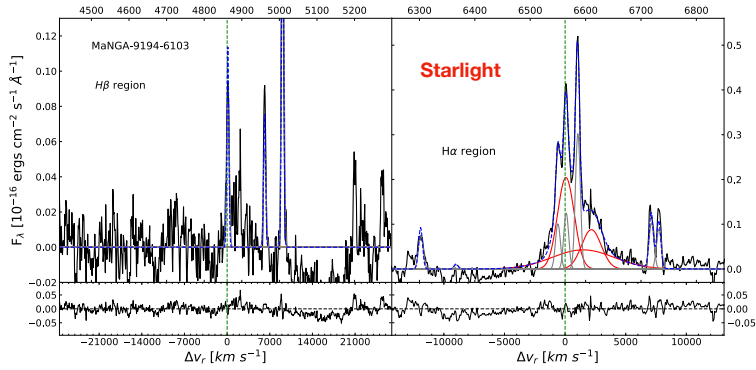






QDeblend3D

QDeblend3D



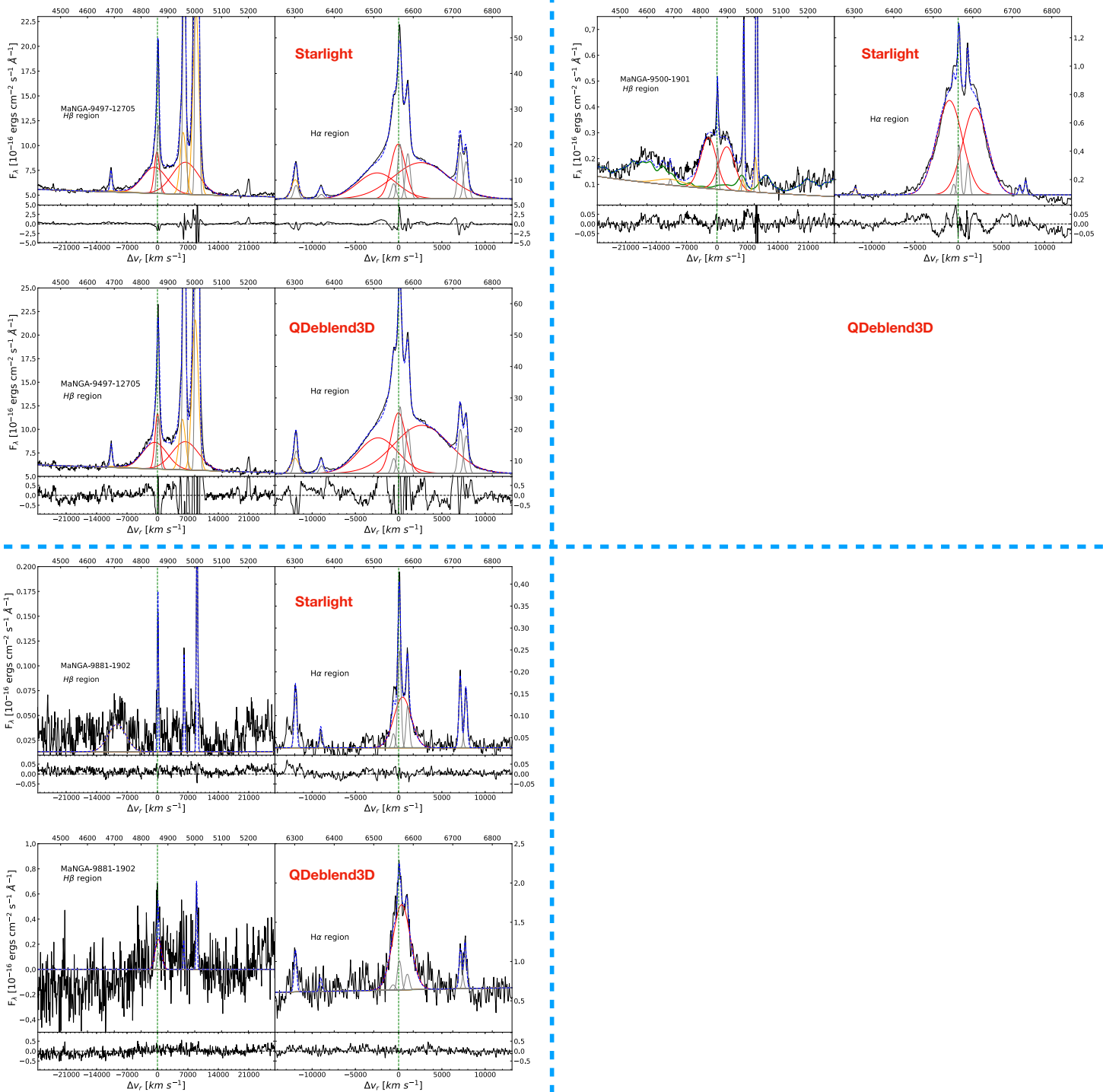


Figura D.1: Los ajustes de las líneas de emisión de los 47 AGNs. Cada galaxia muestra los ajustes hechos utilizando el espectro de Starlight y de QDeblend3D (en caso de que se haya podido obtener). Más detalles de los ajustes se encuentran en la sección 4.3.

Bibliografía

Abazajian, K. N., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., Allam, S. S., Allende Prieto, C., An, D., Anderson, K. S. J., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A. y al., et (jun. de 2009). The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. *. 182, 543-558, págs. 543-558. DOI: 10.1088/0067-0049/182/2/543. arXiv: 0812.0649.

Abdurro'uf, Accetta, K., Aerts, C., Silva Aguirre, V., Ahumada, R., Ajgaonkar, N., Filiz Ak, N., Alam, S., Allende Prieto, C., Almeida, A., Anders, F., Anderson, S. F., Andrews, B. H., Anguiano, B., Aquino-Ortiz, E., Aragón-Salamanca, A., Argudo-Fernández, M., Ata, M., Aubert, M., Avila-Reese, V., Badenes, C., Barbá, R. H., Barger, K., Barrera-Ballesteros, J. K., Beaton, R. L., Beers, T. C., Belfiore, F., Bender, C. F., Bernardi, M., Bershad, M. A., Beutler, F., Bidin, C. M., Bird, J. C., Bizyaev, D., Blanc, G. A., Blanton, M. R., Boardman, N. F., Bolton, A. S., Boquien, M., Borissova, J., Bovy, J., Brandt, W. N., Brown, J., Brownstein, J. R., Brusa, M., Buchner, J., Bundy, K., Burchett, J. N., Bureau, M., Burgasser, A., Cabang, T. K., Campbell, S., Cappellari, M., Carlberg, J. K., Wanderley, F. C., Carrera, R., Cash, J., Chen, Y.-P., Chen, W.-H., Cherinka, B., Chiappini, C., Choi, P. D., Chojnowski, S. D., Chung, H., Clerc, N., Cohen, R. E., Comerford, J. M., Comparat, J., da Costa, L., Covey, K., Crane, J. D., Cruz-Gonzalez, I., Culhane, C., Cunha, K., Dai, Y. S., Damke, G., Darling, J., Davidson James W., J., Davies, R., Dawson, K., De Lee, N., Diamond-Stanic, A. M., Cano-Díaz, M., Sánchez, H. D., Donor, J., Duckworth, C., Dwelly, T., Eisenstein, D. J., Elsworth, Y. P., Emsellem, E., Eracleous, M., Escoffier, S., Fan, X., Farr, E., Feng, S., Fernández-Trincado, J. G., Feuillet, D., Filipp, A., Fillingham, S. P., Frinchaboy, P. M., Fromenteau, S., Galbany, L., Garcia, R. A., Garcia-Hernández, D. A., Ge, J., Geisler, D., Gelfand, J., Géron, T., Gibson, B. J., Goddy, J., Godoy-Rivera, D., Grabowski, K., Green, P. J., Greener, M., Grier, C. J., Griffith, E., Guo, H., Guy, J., Hadrara, M., Harding, P., Hasselquist, S., Hayes, C. R., Hearty, F., Hernández, J., Hill, L., Hogg, D. W., Holtzman, J. A., Horta, D., Hsieh, B.-C., Hsu, C.-H., Hsu, Y.-H., Huber, D., Huertas-Company, M., Hutchinson, B., Hwang, H. S., Ibarra-Medel, H. J., Chitham, J. I., Ilha, G. S., Imig, J., Jaekle, W., Jayasinghe, T., Ji, X., Johnson, J. A., Jones, A., Jönsson, H., Katkov, I., Khalatyan Arman, D., Kinemuchi, K., Kisku, S., Knapen, J. H., Kneib, J.-P., Kollmeier, J. A., Kong, M., Kounkel, M., Kreckel, K., Krishnarao, D., Lacerna, I., Lane, R. R., Langgins, R., Lavender, R., Law, D. R., Lazarz, D., Leung, H. W., Leung, H.-H., Lewis, H. M., Li, C., Li, R., Lian, J., Liang, F.-H., Lin, L., Lin, Y.-T., Lin, S., Lintott, C., Long, D., Longa-Peña, P., López-Cobá, C., Lu, S., Lundgren, B. F., Luo, Y., Mackereth, J. T., de la Macorra, A., Mahadevan, S., Majewski, S. R., Machado, A., Mandeville, T., Maraston, C., Margalef-Bentabol,

B., Masseron, T., Masters, K. L., Mathur, S., McDermid, R. M., McKay, M., Merloni, A., Merrifield, M., Meszaros, S., Miglio, A., Di Mille, F., Minniti, D., Minsley, R., Monachesi, A., Moon, J., Mosser, B., Mulchaey, J., Muna, D., Muñoz, R. R., Myers, A. D., Myers, N., Nadathur, S., Nair, P., Nandra, K., Neumann, J., Newman, J. A., Nidever, D. L., Nikakhtar, F., Nitschelm, C., O'Connell, J. E., Garma-Oehmichen, L., Luan Souza de Oliveira, G., Olney, R., Oravetz, D., Ortigoza-Urdaneta, M., Osorio, Y., Otter, J., Pace, Z. J., Padilla, N., Pan, K., Pan, H.-A., Parikh, T., Parker, J., Peirani, S., Peña Ramírez, K., Penny, S., Percival, W. J., Perez-Fournon, I., Pinsonneault, M., Poidevin, F., Poovelil, V. J., Price-Whelan, A. M., Bárbara de Andrade Queiroz, A., Raddick, M. J., Ray, A., Rembold, S. B., Riddle, N., Riffel, R. A., Riffel, R., Rix, H.-W., Robin, A. C., Rodríguez-Puebla, A., Roman-Lopes, A., Román-Zúñiga, C., Rose, B., Ross, A. J., Rossi, G., Rubin, K. H. R., Salvato, M., Sánchez, S. F., Sánchez-Gallego, J. R., Sanderson, R., Santana Rojas, F. A., Sarceno, E., Sarmiento, R., Sayres, C., Sazonova, E., Schaefer, A. L., Schiavon, R., Schlegel, D. J., Schneider, D. P., Schultheis, M., Schwope, A., Serenelli, A., Serna, J., Shao, Z., Shapiro, G., Sharma, A., Shen, Y., Shetrone, M., Shu, Y., Simon, J. D., Skrutskie, M. F., Smethurst, R., Smith, V., Sobek, J., Spoo, T., Sprague, D., Stark, D. V., Stassun, K. G., Steinmetz, M., Stello, D., Stone-Martinez, A., Storchi-Bergmann, T., Stringfellow, G. S., Stutz, A., Su, Y.-C., Taghizadeh-Popp, M., Talbot, M. S., Tayar, J., Telles, E., Teske, J., Thakar, A., Theissen, C., Tkachenko, A., Thomas, D., Tojeiro, R., Hernandez Toledo, H., Troup, N. W., Trump, J. R., Trussler, J., Turner, J., Tuttle, S., Unda-Sanzana, E., Vázquez-Mata, J. A., Valentini, M., Valenzuela, O., Vargas-González, J., Vargas-Magaña, M., Alfaro, P. V., Villanova, S., Vincenzo, F., Wake, D., Warfield, J. T., Washington, J. D., Weaver, B. A., Weijmans, A.-M., Weinberg, D. H., Weiss, A., Westfall, K. B., Wild, V., Wilde, M. C., Wilson, J. C., Wilson, R. F., Wilson, M., Wolf, J., Wood-Vasey, W. M., Yan, R., Zamora, O., Zasowski, G., Zhang, K., Zhao, C., Zheng, Z., Zheng, Z. y Zhu, K. (abr. de 2022). The Seventeenth Data Release of the Sloan Digital Sky Surveys: Complete Release of MaNGA, MaStar, and APOGEE-2 Data. *. 259.2, 35, pág. 35. DOI: 10.3847/1538-4365/ac4414. arXiv: 2112.02026 [astro-ph.GA].

Albareti, F. D., Allende Prieto, C., Almeida, A., Anders, F., Anderson, S., Andrews, B. H., Aragón-Salamanca, A., Argudo-Fernández, M., Armengaud, E., Aubourg, E., Avila-Reese, V., Badenes, C., Bailey, S., Barbuy, B., Barger, K., Barrera-Ballesteros, J., Bartosz, C., Basu, S., Bates, D., Battaglia, G., Baumgarten, F., Baur, J., Bautista, J., Beers, T. C., Belfiore, F., Bershady, M., Bertran de Lis, S., Bird, J. C., Bizyaev, D., Blanc, G. A., Blanton, M., Blomqvist, M., Bolton, A. S., Borissova, J., Bovy, J., Brandt, W. N., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Bundy, K., Burtin, E., Busca, N. G., Camacho Chavez, H. O., Cano Díaz, M., Cappellari, M., Carrera, R., Chen, Y., Cherinka, B., Cheung, E., Chiappini, C., Chojnowski, D., Chuang, C.-H., Chung, H., Cirolini, R. F., Clerc, N., Cohen, R. E., Comerford, J. M., Comparat, J., Correa do Nascimento, J., Cousinou, M.-C., Covey, K., Crane, J. D., Croft, R., Cunha, K., Darling, J., Davidson James W., J.,

Dawson, K., Da Costa, L., Da Silva Ilha, G., Deconto Machado, A., Delubac, T., De Lee, N., De la Macorra, A., De la Torre, S., Diamond-Stanic, A. M., Donor, J., Downes, J. J., Drory, N., Du, C., Du Mas des Bourboux, H., Dwelly, T., Ebelke, G., Eigenbrot, A., Eisenstein, D. J., Elsworth, Y. P., Emsellem, E., Eracleous, M., Escoffier, S., Evans, M. L., Falcón-Barroso, J., Fan, X., Favole, G., Fernandez-Alvar, E., Fernandez-Trincado, J. G., Feuillet, D., Fleming, S. W., Font-Ribera, A., Freischlad, G., Frinchaboy, P., Fu, H., Gao, Y., Garcia, R. A., Garcia-Dias, R., Garcia-Hernández, D. A., Garcia Pérez, A. E., Gaulme, P., Ge, J., Geisler, D., Gillespie, B., Gil Marin, H., Girardi, L., Goddard, D., Gomez Maqueo Chew, Y., Gonzalez-Perez, V., Grabowski, K., Green, P., Grier, C. J., Grier, T., Guo, H., Guy, J., Hagen, A., Hall, M., Harding, P., Harley, R. E., Hasselquist, S., Hawley, S., Hayes, C. R., Hearty, F., Hekker, S., Hernandez Toledo, H., Ho, S., Hogg, D. W., Holley-Bockelmann, K., Holtzman, J. A., Holzer, P. H., Hu, J., Huber, D., Hutchinson, T. A., Hwang, H. S., Ibarra-Medel, H. J., Ivans, I. I., Ivory, K., Jaehnig, K., Jensen, T. W., Johnson, J. A., Jones, A., Jullo, E., Kallinger, T., Kinemuchi, K., Kirkby, D., Klaene, M., Kneib, J.-P., Kollmeier, J. A., Lacerna, I., Lane, R. R., Lang, D., Laurent, P., Law, D. R., Leauthaud, A., Le Goff, J.-M., Li, C., Li, C., Li, N., Li, R., Liang, F.-H., Liang, Y., Lima, M., Lin, L., Lin, L., Lin, Y.-T., Liu, C., Long, D., Lucatello, S., MacDonald, N., MacLeod, C. L., Mackereth, J. T., Mahadevan, S., Maia, M. A. G., Maiolino, R., Majewski, S. R., Malanushenko, O., Malanushenko, V., Mallmann, N. D., Manchado, A., Maraston, C., Marques-Chaves, R., Martinez Valpuesta, I., Masters, K. L., Mathur, S., McGreer, I. D., Merloni, A., Merrifield, M. R., Mészáros, S., Meza, A., Miglio, A., Minchev, I., Molaverdikhani, K., Montero-Dorta, A. D., Mosser, B., Muna, D., Myers, A., Nair, P., Nandra, K., Ness, M., Newman, J. A., Nichol, R. C., Nidever, D. L., Nitschelm, C., O'Connell, J., Oravetz, A., Oravetz, D. J., Pace, Z., Padilla, N., Palanque-Delabrouille, N., Pan, K., Parejko, J., Paris, I., Park, C., Peacock, J. A., Peirani, S., Pellejero-Ibanez, M., Penny, S., Percival, W. J., Percival, J. W., Perez-Fournon, I., Petitjean, P., Pieri, M., Pinsonneault, M. H., Pisani, A., Prada, F., Prakash, A., Price-Jones, N., Raddick, M. J., Rahman, M., Raichoor, A., Barboza Rembold, S., Reyna, A. M., Rich, J., Richstein, H., Ridl, J., Riffel, R. A., Riffel, R., Rix, H.-W., Robin, A. C., Rockosi, C. M., Rodriguez-Torres, S., Rodrigues, T. S., Roe, N., Roman Lopes, A., Román-Zúñiga, C., Ross, A. J., Rossi, G., Ruan, J., Ruggeri, R., Runnoe, J. C., Salazar-Albornoz, S., Salvato, M., Sanchez, S. F., Sanchez, A. G., Sanchez-Gallego, J. R., Santiago, B. X., Schiavon, R., Schimoia, J. S., Schlafly, E., Schlegel, D. J., Schneider, D. P., Schönrich, R., Schultheis, M., Schwobe, A., Seo, H.-J., Serenelli, A., Sesar, B., Shao, Z., Shetrone, M., Shull, M., Silva Aguirre, V., Skrutskie, M. F., Slosar, A., Smith, M., Smith, V. V., Sobek, J., Somers, G., Souto, D., Stark, D. V., Stassun, K. G., Steinmetz, M., Stello, D., Storchi Bergmann, T., Strauss, M. A., Streblyanska, A., Stringfellow, G. S., Suarez, G., Sun, J., Taghizadeh-Popp, M., Tang, B., Tao, C., Tayar, J., Tembe, M., Thomas, D., Tinker, J., Tojeiro, R., Tremonti, C., Troup, N., Trump, J. R., Unda-Sanzana, E., Valenzuela, O., Van den Bosch, R., Vargas-Magaña, M., Vazquez, J. A., Villanova, S., Vivek, M., Vogt, N., Wake, D.,

- Walterbos, R., Wang, Y., Wang, E., Weaver, B. A., Weijmans, A.-M., Weinberg, D. H., Westfall, K. B., Whelan, D. G., Wilcots, E., Wild, V., Williams, R. A., Wilson, J., Wood-Vasey, W. M., Wylezalek, D., Xiao, T., Yan, R., Yang, M., Ybarra, J. E., Yeche, C., Yuan, F.-T., Zakamska, N., Zamora, O., Zasowski, G., Zhang, K., Zhao, C., Zhao, G.-B., Zheng, Z., Zheng, Z., Zhou, Z.-M., Zhu, G., Zinn, J. C. y Zou, H. (dic. de 2017). The 13th Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-IV Survey Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory. *. 233.2, 25, pág. 25. DOI: 10.3847/1538-4365/aa8992. arXiv: 1608.02013 [astro-ph.GA].
- Antonucci, R. (ene. de 1993). Unified models for active galactic nuclei and quasars. *. 31, págs. 473-521. DOI: 10.1146/annurev.aa.31.090193.002353.
- Argudo-Fernández, M., Verley, S., Bergond, G., Duarte Puertas, S., Ramos Carmona, E., Sabater, J., Fernández Lorenzo, M., Espada, D., Sulentic, J., Ruiz, J. E. y Leon, S. (jun. de 2015). Catalogues of isolated galaxies, isolated pairs, and isolated triplets in the local Universe. *. 578, A110, A110. DOI: 10.1051/0004-6361/201526016. arXiv: 1504.00117 [astro-ph.GA].
- Assef, R. J., Stern, D., Noirot, G., Jun, H. D., Cutri, R. M. y Eisenhardt, P. R. M. (feb. de 2018). The WISE AGN Catalog. *. 234.2, 23, pág. 23. DOI: 10.3847/1538-4365/aaa00a. arXiv: 1706.09901 [astro-ph.GA].
- Astropy Collaboration, Price-Whelan, A. M., Lim, P. L., Earl, N., Starkman, N., Bradley, L., Shupe, D. L., Patil, A. A., Corrales, L., Basseur, C. E., Nöthe, M., Donath, A., Tollerud, E., Morris, B. M., Ginsburg, A., Vaher, E., Weaver, B. A., Tocknell, J., Jamieson, W., van Kerkwijk, M. H., Robitaille, T. P., Merry, B., Bachetti, M., Günther, H. M., Aldcroft, T. L., Alvarado-Montes, J. A., Archibald, A. M., Bódi, A., Bapat, S., Barentsen, G., Bazán, J., Biswas, M., Boquien, M., Burke, D. J., Cara, D., Cara, M., Conroy, K. E., Conseil, S., Craig, M. W., Cross, R. M., Cruz, K. L., D'Eugenio, F., Dencheva, N., Devillepoix, H. A. R., Dietrich, J. P., Eigenbrot, A. D., Erben, T., Ferreira, L., Foreman-Mackey, D., Fox, R., Freij, N., Garg, S., Geda, R., Glattly, L., Gondhalekar, Y., Gordon, K. D., Grant, D., Greenfield, P., Groener, A. M., Guest, S., Gurovich, S., Handberg, R., Hart, A., Hatfield-Dodds, Z., Homeier, D., Hosseinzadeh, G., Jenness, T., Jones, C. K., Joseph, P., Kalmbach, J. B., Karamehmetoglu, E., Kałuszyński, M., Kelley, M. S. P., Kern, N., Kerzendorf, W. E., Koch, E. W., Kulumani, S., Lee, A., Ly, C., Ma, Z., MacBride, C., Maljaars, J. M., Muna, D., Murphy, N. A., Norman, H., O'Steen, R., Oman, K. A., Pacifici, C., Pascual, S., Pascual-Granado, J., Patil, R. R., Perren, G. I., Pickering, T. E., Rastogi, T., Roulston, B. R., Ryan, D. F., Rykoff, E. S., Sabater, J., Sakurikar, P., Salgado, J., Sanghi, A., Saunders, N., Savchenko, V., Schwardt, L., Seifert-Eckert, M., Shih, A. Y., Jain, A. S., Shukla, G., Sick, J., Simpson, C., Singanamalla, S., Singer, L. P., Singhal, J., Sinha, M., Sipócz, B. M., Spitler, L. R., Stansby, D., Streicher, O., Šumak, J., Swinbank, J. D., Taranu, D. S., Tewary, N., Tremblay, G. R., de Val-Borro, M., Van Kooten, S. J., Vasović, Z., Verma, S., de Miranda Cardoso, J. V., Williams, P. K. G., Wilson, T. J., Winkel, B., Wood-Vasey, W. M.,

- Xue, R., Yoachim, P., Zhang, C., Zonca, A. y Astropy Project Contributors (ago. de 2022). The Astropy Project: Sustaining and Growing a Community-oriented Open-source Project and the Latest Major Release (v5.0) of the Core Package. *. 935.2, 167, pág. 167. DOI: 10.3847/1538-4357/ac7c74. arXiv: 2206.14220 [astro-ph.IM].
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M. y Terlevich, R. (feb. de 1981). Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *. 93, págs. 5-19. DOI: 10.1086/130766.
- Balogh, M. L., Morris, S. L., Yee, H. K. C., Carlberg, R. G. y Ellingson, E. (dic. de 1999). Differential Galaxy Evolution in Cluster and Field Galaxies at $z \sim 0.3$. *. 527.1, págs. 54-79. DOI: 10.1086/308056. arXiv: astro-ph/9906470 [astro-ph].
- Bañados, E., Venemans, B. P., Mazzucchelli, C., Farina, E. P., Walter, F., Wang, F., Decarli, R., Stern, D., Fan, X., Davies, F. B., Hennawi, J. F., Simcoe, R. A., Turner, M. L., Rix, H.-W., Yang, J., Kelson, D. D., Rudie, G. C. y Winters, J. M. (ene. de 2018). An 800-million-solar-mass black hole in a significantly neutral Universe at a redshift of 7.5. *. 553.7689, págs. 473-476. DOI: 10.1038/nature25180. arXiv: 1712.01860 [astro-ph.GA].
- Becker, R. H., White, R. L. y Helfand, D. J. (sep. de 1995). The FIRST Survey: Faint Images of the Radio Sky at Twenty Centimeters. *. 450, pág. 559. DOI: 10.1086/176166.
- Beckmann, V. y Shrader, C. R. (2012). *Active Galactic Nuclei*.
- Bickley, R. W., Bottrell, C., Hani, M. H., Ellison, S. L., Teimoorinia, H., Yi, K. M., Wilkinson, S., Gwyn, S. y Hudson, M. J. (jun. de 2021). Convolutional neural network identification of galaxy post-mergers in UNIONS using IllustrisTNG. *. 504.1, págs. 372-392. DOI: 10.1093/mnras/stab806. arXiv: 2103.09367 [astro-ph.GA].
- Blandford, R. D. y McKee, C. F. (abr. de 1982). Reverberation mapping of the emission line regions of Seyfert galaxies and quasars. *. 255, págs. 419-439. DOI: 10.1086/159843.
- Blanton, M. R., Bershady, M. A., Abolfathi, B., Albareti, F. D., Allende Prieto, C., Almeida, A., Alonso-García, J., Anders, F., Anderson, S. F., Andrews, B., Aquino-Ortiz, E., Aragón-Salamanca, A., Argudo-Fernández, M., Armengaud, E., Aubourg, E., Avila-Reese, V., Badenes, C., Bailey, S., Barger, K. A., Barrera-Ballesteros, J., Bartosz, C., Bates, D., Baumgarten, F., Bautista, J., Beaton, R., Beers, T. C., Belfiore, F., Bender, C. F., Berlind, A. A., Bernardi, M., Beutler, F., Bird, J. C., Bizyaev, D., Blanc, G. A., Blomqvist, M., Bolton, A. S., Boquien, M., Borissova, J., van den Bosch, R., Bovy, J., Brandt, W. N., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Bundy, K., Burgasser, A. J., Burtin, E., Busca, N. G., Cappellari, M., Delgado Carigi, M. L., Carlberg, J. K., Carnero Rosell, A., Carrera, R., Chanover, N. J., Cherinka, B., Cheung, E., Gómez Maqueo Chew, Y., Chiappini, C., Choi, P. D., Chojnowski, D., Chuang, C.-H., Chung, H., Cirolini, R. F., Clerc, N., Cohen, R. E., Comparat, J., da Costa, L., Cousinou, M.-C., Covey, K., Crane, J. D., Croft, R. A. C., Cruz-Gonzalez, I., Garrido Cuadra, D., Cunha, K., Damke, G. J., Darling, J., Davies, R., Dawson, K., de la Macorra, A., Dell'Agli, F., De Lee, N., Delubac, T., Di Mille, F., Diamond-Stanic, A., Cano-Díaz, M., Donor, J., Downes, J. J., Drory, N., du Mas

des Bourbonx, H., Duckworth, C. J., Dwelly, T., Dyer, J., Ebelke, G., Eigenbrot, A. D., Eisenstein, D. J., Emsellem, E., Eracleous, M., Escoffier, S., Evans, M. L., Fan, X., Fernández-Alvar, E., Fernandez-Trincado, J. G., Feuillet, D. K., Finoguenov, A., Fleming, S. W., Font-Ribera, A., Fredrickson, A., Freischlad, G., Frinchaboy, P. M., Fuentes, C. E., Galbany, L., Garcia-Dias, R., Garcia-Hernández, D. A., Gaulme, P., Geisler, D., Gelfand, J. D., Gil-Marín, H., Gillespie, B. A., Goddard, D., Gonzalez-Perez, V., Grabowski, K., Green, P. J., Grier, C. J., Gunn, J. E., Guo, H., Guy, J., Hagen, A., Hahn, C., Hall, M., Harding, P., Hasselquist, S., Hawley, S. L., Hearty, F., Gonzalez Hernández, J. I., Ho, S., Hogg, D. W., Holley-Bockelmann, K., Holtzman, J. A., Holzer, P. H., Huehnerhoff, J., Hutchinson, T. A., Hwang, H. S., Ibarra-Medel, H. J., da Silva Ilha, G., Ivans, I. I., Ivory, K., Jackson, K., Jensen, T. W., Johnson, J. A., Jones, A., Jönsson, H., Jullo, E., Kamble, V., Kinemuchi, K., Kirkby, D., Kitaura, F.-S., Klaene, M., Knapp, G. R., Kneib, J.-P., Kollmeier, J. A., Lacerna, I., Lane, R. R., Lang, D., Law, D. R., Lazarz, D., Lee, Y., Le Goff, J.-M., Liang, F.-H., Li, C., Li, H., Lian, J., Lima, M., Lin, L., Lin, Y.-T., Bertran de Lis, S., Liu, C., de Icaza Lizaola, M. A. C., Long, D., Lucatello, S., Lundgren, B., MacDonald, N. K., Deconto Machado, A., MacLeod, C. L., Mahadevan, S., Geimba Maia, M. A., Maiolino, R., Majewski, S. R., Malanushenko, E., Malanushenko, V., Manchado, A., Mao, S., Maraston, C., Marques-Chaves, R., Masseron, T., Masters, K. L., McBride, C. K., McDermid, R. M., McGrath, B., McGreer, I. D., Medina Peña, N., Melendez, M., Merloni, A., Merrifield, M. R., Meszaros, S., Meza, A., Minchev, I., Minniti, D., Miyaji, T., More, S., Mulchaey, J., Müller-Sánchez, F., Muna, D., Munoz, R. R., Myers, A. D., Nair, P., Nandra, K., Correa do Nascimento, J., Negrete, A., Ness, M., Newman, J. A., Nichol, R. C., Nidever, D. L., Nitschelm, C., Ntelis, P., O'Connell, J. E., Oelkers, R. J., Oravetz, A., Oravetz, D., Pace, Z., Padilla, N., Palanque-Delabrouille, N., Alonso Palicio, P., Pan, K., Parejko, J. K., Parikh, T., Pâris, I., Park, C., Patten, A. Y., Peirani, S., Pellejero-Ibanez, M., Penny, S., Percival, W. J., Perez-Fournon, I., Petitjean, P., Pieri, M. M., Pinsonneault, M., Pisani, A., Poleski, R., Prada, F., Prakash, A., Queiroz, A. B. d. A., Raddick, M. J., Raichoor, A., Barboza Rembold, S., Richstein, H., Riffel, R. A., Riffel, R., Rix, H.-W., Robin, A. C., Rockosi, C. M., Rodriguez-Torres, S., Roman-Lopes, A., Román-Zúñiga, C., Rosado, M., Ross, A. J., Rossi, G., Ruan, J., Ruggeri, R., Rykoff, E. S., Salazar-Albornoz, S., Salvato, M., Sánchez, A. G., Aguado, D. S., Sánchez-Gallego, J. R., Santana, F. A., Santiago, B. X., Sayres, C., Schiavon, R. P., da Silva Schimoia, J., Schlafly, E. F., Schlegel, D. J., Schneider, D. P., Schultheis, M., Schuster, W. J., Schwobe, A., Seo, H.-J., Shao, Z., Shen, S., Shetrone, M., Shull, M., Simon, J. D., Skinner, D., Skrutskie, M. F., Slosar, A., Smith, V. V., Soback, J. S., Sobreira, F., Somers, G., Souto, D., Stark, D. V., Stassun, K., Stauffer, F., Steinmetz, M., Storchi-Bergmann, T., Streblyanska, A., Stringfellow, G. S., Suárez, G., Sun, J., Suzuki, N., Szigeti, L., Taghizadeh-Popp, M., Tang, B., Tao, C., Tayar, J., Tembe, M., Teske, J., Thakar, A. R., Thomas, D., Thompson, B. A., Tinker, J. L., Tissera, P., Tojeiro, R., Hernandez Toledo, H., de la Torre, S., Tremonti, C., Troup,

- N. W., Valenzuela, O., Martínez Valpuesta, I., Vargas-González, J., Vargas-Magaña, M., Vázquez, J. A., Villanova, S., Vivek, M., Vogt, N., Wake, D., Walterbos, R., Wang, Y., Weaver, B. A., Weijmans, A.-M., Weinberg, D. H., Westfall, K. B., Whelan, D. G., Wild, V., Wilson, J., Wood-Vasey, W. M., Wylezalek, D., Xiao, T., Yan, R., Yang, M., Ybarra, J. E., Yèche, C., Zakamska, N., Zamora, O., Zarrouk, P., Zasowski, G., Zhang, K., Zhao, G.-B., Zheng, Z., Zhou, X., Zhou, Z.-M., Zhu, G. B., Zoccali, M. y Zou, H. (jul. de 2017). Sloan Digital Sky Survey IV: Mapping the Milky Way, Nearby Galaxies, and the Distant Universe. *. 154.1, 28, pág. 28. DOI: 10.3847/1538-3881/aa7567. arXiv: 1703.00052 [astro-ph.GA].
- Blanton, M. R. y Moustakas, J. (sep. de 2009). Physical Properties and Environments of Nearby Galaxies. *. 47.1, págs. 159-210. DOI: 10.1146/annurev-astro-082708-101734. arXiv: 0908.3017 [astro-ph.GA].
- Bon, N., Marziani, P., Bon, E., Negrete, C. A., Dultzin, D., del Olmo, A., D'Onofrio, M. y Martínez-Aldama, M. L. (mar. de 2020). Selection of highly-accreting quasars. Spectral properties of Fe II_{opt} emitters not belonging to extreme Population A. *. 635, A151, A151. DOI: 10.1051/0004-6361/201936773. arXiv: 2001.08765 [astro-ph.GA].
- Boroson, T. A. y Green, R. F. (mayo de 1992). The Emission-Line Properties of Low-Redshift Quasi-stellar Objects. *. 80, pág. 109. DOI: 10.1086/191661.
- Bournaud, F. (ene. de 2016). «Bulge Growth Through Disc Instabilities in High-Redshift Galaxies». En: *Galactic Bulges*. Ed. por E. Laurikainen, R. Peletier y D. Gadotti. Vol. 418. Astrophysics and Space Science Library, pág. 355. DOI: 10.1007/978-3-319-19378-6_13. arXiv: 1503.07660 [astro-ph.GA].
- Brecher, K., Ingham, W. H. y Morrison, P. (abr. de 1977). On transient thermal X-ray emission from novae. *. 213, págs. 492-496. DOI: 10.1086/155180.
- Bruce, V. A., Dunlop, J. S., Mortlock, A., Kocevski, D. D., McGrath, E. J. y Rosario, D. J. (mayo de 2016). The bulge-disc decomposition of AGN host galaxies. *. 458.3, págs. 2391-2404. DOI: 10.1093/mnras/stw467. arXiv: 1510.03870 [astro-ph.GA].
- Bruzual, G. y Charlot, S. (oct. de 2003). Stellar population synthesis at the resolution of 2003. *. 344.4, págs. 1000-1028. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2003.06897.x. arXiv: astro-ph/0309134 [astro-ph].
- Bundy, K., Bershady, M. A., Law, D. R., Yan, R., Drory, N., MacDonald, N., Wake, D. A., Chirinka, B., Sánchez-Gallego, J. R., Weijmans, A.-M., Thomas, D., Tremonti, C., Masters, K., Coccato, L., Diamond-Stanic, A. M., Aragón-Salamanca, A., Avila-Reese, V., Badenes, C., Falcón-Barroso, J., Belfiore, F., Bizyaev, D., Blanc, G. A., Bland-Hawthorn, J., Blanton, M. R., Brownstein, J. R., Byler, N., Cappellari, M., Conroy, C., Dutton, A. A., Emsellem, E., Etherington, J., Frinchaboy, P. M., Fu, H., Gunn, J. E., Harding, P., Johnston, E. J., Kauffmann, G., Kinemuchi, K., Klaene, M. A., Knapen, J. H., Leauthaud, A., Li, C., Lin, L., Maiolino, R., Malanushenko, V., Malanushenko, E., Mao, S., Maraston, C., McDermid, R. M., Merri-

- field, M. R., Nichol, R. C., Oravetz, D., Pan, K., Parejko, J. K., Sanchez, S. F., Schlegel, D., Simmons, A., Steele, O., Steinmetz, M., Thanjavur, K., Thompson, B. A., Tinker, J. L., van den Bosch, R. C. E., Westfall, K. B., Wilkinson, D., Wright, S., Xiao, T. y Zhang, K. (ene. de 2015). Overview of the SDSS-IV MaNGA Survey: Mapping nearby Galaxies at Apache Point Observatory. *. 798.1, 7, pág. 7. DOI: 10.1088/0004-637X/798/1/7. arXiv: 1412.1482 [astro-ph.GA].
- Buta, R. J., Sheth, K., Athanassoula, E., Bosma, A., Knapen, J. H., Laurikainen, E., Salo, H., Elmegreen, D., Ho, L. C., Zaritsky, D., Courtois, H., Hinz, J. L., Muñoz-Mateos, J.-C., Kim, T., Regan, M. W., Gadotti, D. A., Gil de Paz, A., Laine, J., Menéndez-Delmestre, K., Comerón, S., Erroz Ferrer, S., Seibert, M., Mizusawa, T., Holwerda, B. y Madore, B. F. (abr. de 2015). A Classical Morphological Analysis of Galaxies in the Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies (S4G). *. 217.2, 32, pág. 32. DOI: 10.1088/0067-0049/217/2/32. arXiv: 1501.00454 [astro-ph.GA].
- Cano-Díaz, M., Sánchez, S. F., Zibetti, S., Ascasibar, Y., Bland-Hawthorn, J., Ziegler, B., González Delgado, R. M., Walcher, C. J., Garcia-Benito, R., Mast, D., Mendoza-Pérez, M. A., Falcón-Barroso, J., Galbany, L., Husemann, B., Kehrig, C., Marino, R. A., Sánchez-Blázquez, P., López-Cobá, C., López-Sánchez, Á. R. y Vilchez, J. M. (abr. de 2016). Spatially Resolved Star Formation Main Sequence of Galaxies in the CALIFA Survey. *. 821.2, L26, pág. L26. DOI: 10.3847/2041-8205/821/2/L26. arXiv: 1602.02770 [astro-ph.GA].
- Caplar, N., Lilly, S. J. y Trakhtenbrot, B. (oct. de 2015). AGN Evolution from a Galaxy Evolution Viewpoint. *. 811.2, 148, pág. 148. DOI: 10.1088/0004-637X/811/2/148. arXiv: 1411.3719 [astro-ph.GA].
- Cardelli, J. A., Clayton, G. C. y Mathis, J. S. (oct. de 1989). The Relationship between Infrared, Optical, and Ultraviolet Extinction. *. 345, pág. 245. DOI: 10.1086/167900.
- Chen, K. y Halpern, J. P. (sep. de 1989). Structure of Line-emitting Accretion Disks in Active Galactic Nuclei: ARP 102B. *. 344, pág. 115. DOI: 10.1086/167782.
- Cherinka, B. y Schulte-Ladbeck, R. E. (oct. de 2011). Ca II and Na I Quasar Absorption-line Systems in an Emission-selected Sample of SDSS DR7 Galaxy/Quasar Projections. I. Sample Selection. *. 142.4, 122, pág. 122. DOI: 10.1088/0004-6256/142/4/122. arXiv: 1108.2037 [astro-ph.CO].
- Cherinka, B., Andrews, B. H., Sánchez-Gallego, J., Brownstein, J., Argudo-Fernández, M., Blanton, M., Bundy, K., Jones, A., Masters, K., Law, D. R., Rowlands, K., Weijmans, A.-M., Westfall, K. y Yan, R. (ago. de 2019). Marvin: A Tool Kit for Streamlined Access and Visualization of the SDSS-IV MaNGA Data Set. *. 158.2, 74, pág. 74. DOI: 10.3847/1538-3881/ab2634. arXiv: 1812.03833 [astro-ph.IM].

- Christensen, L., Jahnke, K., Wisotzki, L. y Sánchez, S. F. (dic. de 2006). Extended Lyman- α emission around bright quasars. *. 459.3, págs. 717-729. DOI: 10.1051/0004-6361:20065318. arXiv: astro-ph/0603835 [astro-ph].
- Cid Fernandes, R., Mateus, A., Sodré, L., Stasińska, G. y Gomes, J. M. (abr. de 2005). Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - I. Spectral synthesis method. *. 358, págs. 363-378. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.08752.x. eprint: astro-ph/0412481.
- Cid Fernandes, R., Stasińska, G., Schlickmann, M. S., Mateus, A., Vale Asari, N., Schoenell, W. y Sodré, L. (abr. de 2010). Alternative diagnostic diagrams and the ‘forgotten’ population of weak line galaxies in the SDSS. *. 403.2, págs. 1036-1053. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2009.16185.x. arXiv: 0912.1643 [astro-ph.CO].
- Cisternas, M., Jahnke, K., Inskip, K. J., Kartaltepe, J., Koekemoer, A. M., Lisker, T., Robaina, A. R., Scodreggio, M., Sheth, K., Trump, J. R., Andrae, R., Miyaji, T., Lusso, E., Brusa, M., Capak, P., Cappelluti, N., Civano, F., Ilbert, O., Impey, C. D., Leauthaud, A., Lilly, S. J., Salvato, M., Scoville, N. Z. y Taniguchi, Y. (ene. de 2011). The Bulk of the Black Hole Growth Since $z \sim 1$ Occurs in a Secular Universe: No Major Merger-AGN Connection. *. 726.2, 57, pág. 57. DOI: 10.1088/0004-637X/726/2/57. arXiv: 1009.3265 [astro-ph.CO].
- Collinson, J. S., Ward, M. J., Landt, H., Done, C., Elvis, M. y McDowell, J. C. (feb. de 2017). Reaching the peak of the quasar spectral energy distribution - II. Exploring the accretion disc, dusty torus and host galaxy. *. 465.1, págs. 358-382. DOI: 10.1093/mnras/stw2666. arXiv: 1610.04221 [astro-ph.HE].
- Comerford, J. M., Negus, J., Müller-Sánchez, F., Eracleous, M., Wylezalek, D., Storch-Bergmann, T., Greene, J. E., Barrows, R. S., Nevin, R., Roy, N. y Stemo, A. (oct. de 2020). A Catalog of 406 AGNs in MaNGA: A Connection between Radio-mode AGNs and Star Formation Quenching. *. 901.2, 159, pág. 159. DOI: 10.3847/1538-4357/abb2ae. arXiv: 2008.11210 [astro-ph.GA].
- Cortes-Suárez, E., Negrete, C. A., Hernández-Toledo, H. M., Ibarra-Medel, H. y Lacerna, I. (ago. de 2022). SDSS-IV MaNGA: Identification and multiwavelength properties of Type-1 AGN in the DR15 sample. *. 514.3, págs. 3626-3649. DOI: 10.1093/mnras/stac1505. arXiv: 2205.13652 [astro-ph.GA].
- Czerny, B., Martínez-Aldama, M. L., Wojtkowska, G., Zajaček, M., Marziani, P., Dultzin, D., Naddaf, M. H., Panda, S., Prince, R., Przyłuski, R., Ralowski, M. y Śniegowska, M. (abr. de 2021). Dark Energy Constraints from Quasar Observations. *Acta Physica Polonica A* *. 139.4, págs. 389-393. DOI: 10.12693/APhysPolA.139.389. arXiv: 2011.12375 [astro-ph.CO].
- Daddi, E., Dickinson, M., Morrison, G., Chary, R., Cimatti, A., Elbaz, D., Frayer, D., Renzini, A., Pope, A., Alexander, D. M., Bauer, F. E., Giavalisco, M., Huynh, M., Kurk, J. y Mignoli, M. (nov. de 2007). Multiwavelength Study of Massive Galaxies at $z \sim 2$. I. Star Formation

and Galaxy Growth. *. 670.1, págs. 156-172. DOI: 10.1086/521818. arXiv: 0705.2831 [astro-ph].

Dawson, K. S., Kneib, J.-P., Percival, W. J., Alam, S., Albareti, F. D., Anderson, S. F., Armengaud, E., Aubourg, É., Bailey, S., Bautista, J. E., Berlind, A. A., Bershad, M. A., Beutler, F., Bizyaev, D., Blanton, M. R., Blomqvist, M., Bolton, A. S., Bovy, J., Brandt, W. N., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Burtin, E., Busca, N. G., Cai, Z., Chuang, C.-H., Clerc, N., Comparat, J., Cope, F., Croft, R. A. C., Cruz-Gonzalez, I., da Costa, L. N., Cousinou, M.-C., Darling, J., de la Macorra, A., de la Torre, S., Delubac, T., du Mas des Bourboux, H., Dwelly, T., Ealet, A., Eisenstein, D. J., Eracleous, M., Escoffier, S., Fan, X., Finoguenov, A., Font-Ribera, A., Frinchaboy, P., Gaulme, P., Georgakakis, A., Green, P., Guo, H., Guy, J., Ho, S., Holder, D., Huehnerhoff, J., Hutchinson, T., Jing, Y., Jullo, E., Kamble, V., Kinemuchi, K., Kirkby, D., Kitaura, F.-S., Klaene, M. A., Laher, R. R., Lang, D., Laurent, P., Le Goff, J.-M., Li, C., Liang, Y., Lima, M., Lin, Q., Lin, W., Lin, Y.-T., Long, D. C., Lundgren, B., MacDonald, N., Geimba Maia, M. A., Malanushenko, E., Malanushenko, V., Mariappan, V., McBride, C. K., McGreer, I. D., Ménard, B., Merloni, A., Meza, A., Montero-Dorta, A. D., Muna, D., Myers, A. D., Nandra, K., Naugle, T., Newman, J. A., Noterdaeme, P., Nugent, P., Ogando, R., Olmstead, M. D., Oravetz, A., Oravetz, D. J., Padmanabhan, N., Palanque-Delabrouille, N., Pan, K., Parejko, J. K., Pâris, I., Peacock, J. A., Petitjean, P., Pieri, M. M., Pisani, A., Prada, F., Prakash, A., Raichoor, A., Reid, B., Rich, J., Ridl, J., Rodriguez-Torres, S., Carnero Rosell, A., Ross, A. J., Rossi, G., Ruan, J., Salvato, M., Sayres, C., Schneider, D. P., Schlegel, D. J., Seljak, U., Seo, H.-J., Sesar, B., Shandera, S., Shu, Y., Slosar, A., Sobreira, F., Streblyanska, A., Suzuki, N., Taylor, D., Tao, C., Tinker, J. L., Tojeiro, R., Vargas-Magaña, M., Wang, Y., Weaver, B. A., Weinberg, D. H., White, M., Wood-Vasey, W. M., Yèche, C., Zhai, Z., Zhao, C., Zhao, G.-b., Zheng, Z., Ben Zhu, G. y Zou, H. (feb. de 2016). The SDSS-IV Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Overview and Early Data. *. 151.2, 44, pág. 44. DOI: 10.3847/0004-6256/151/2/44. arXiv: 1508.04473 [astro-ph.CO].

de Vaucouleurs, G. (ene. de 1959). Classification and Morphology of External Galaxies. *Handbuch der Physik* *. 53, pág. 275. DOI: 10.1007/978-3-642-45932-0_7.

Di Matteo, T., Springel, V. y Hernquist, L. (feb. de 2005). Energy input from quasars regulates the growth and activity of black holes and their host galaxies. *. 433.7026, págs. 604-607. DOI: 10.1038/nature03335. arXiv: astro-ph/0502199 [astro-ph].

DiPompeo, M. A., Hickox, R. C., Carroll, C. M., Runnoe, J. C., Mullaney, J. R. y Fischer, T. C. (mar. de 2018). The [O iii] Profiles of Infrared-selected Active Galactic Nuclei: More Powerful Outflows in the Obscured Population. *The Astrophysical Journal* *. 856.1, pág. 76. DOI: 10.3847/1538-4357/aab365. Disp. desde: <https://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/aab365>.

- Done, C. (ago. de 2010). Observational characteristics of accretion onto black holes. *arXiv e-prints* *, arXiv:1008.2287, arXiv:1008.2287. DOI: 10.48550/arXiv.1008.2287. arXiv: 1008.2287 [astro-ph.HE].
- Dragomir, R., Rodriguez-Puebla, A., Primack, J. R. y Lee, C. T. (mayo de 2018). Does the galaxy-halo connection vary with environment? *. 476.1, págs. 741-758. DOI: 10.1093/mnras/sty283. arXiv: 1710.09392 [astro-ph.GA].
- Dultzin, D., Marziani, P., de Diego, J. A., Negrete, C. A., Del Olmo, A., Martinez-Aldama, M. L., D'Onofrio, M., Bon, E., Bon, N. y Stirpe, G. M. (ene. de 2020). Extreme quasars as distance indicators in cosmology. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* *. 6, 80, pág. 80. DOI: 10.3389/fspas.2019.00080. arXiv: 2001.10368 [astro-ph.CO].
- Ellison, S. L., Patton, D. R., Mendel, J. T. y Scudder, J. M. (dic. de 2011). Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - IV. Interactions trigger active galactic nuclei. *. 418.3, págs. 2043-2053. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19624.x. arXiv: 1108.2711 [astro-ph.CO].
- Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, K., Alberdi, A., Alef, W., Algaba, J. C., Anantua, R., Asada, K., Azulay, R., Bach, U., Baczko, A.-K., Ball, D., Baloković, M., Barrett, J., Bauböck, M., Benson, B. A., Bintley, D., Blackburn, L., Blundell, R., Bouman, K. L., Bower, G. C., Boyce, H., Bremer, M., Brinkerink, C. D., Brissenden, R., Britzen, S., Broderick, A. E., Brogiere, D., Bronzwaer, T., Bustamante, S., Byun, D.-Y., Carlstrom, J. E., Ceccobello, C., Chael, A., Chan, C.-k., Chatterjee, K., Chatterjee, S., Chen, M.-T., Chen, Y., Cheng, X., Cho, I., Christian, P., Conroy, N. S., Conway, J. E., Cordes, J. M., Crawford, T. M., Crew, G. B., Cruz-Osorio, A., Cui, Y., Davelaar, J., Laurentis, M. D., Deane, R., Dempsey, J., Desvignes, G., Dexter, J., Dhruv, V., Doeleman, S. S., Dougal, S., Dzib, S. A., Eatough, R. P., Emami, R., Falcke, H., Farah, J., Fish, V. L., Fomalont, E., Ford, H. A., Fraga-Encinas, R., Freeman, W. T., Friberg, P., Fromm, C. M., Fuentes, A., Galison, P., Gammie, C. F., Garcia, R., Gentaz, O., Georgiev, B., Goddi, C., Gold, R., Gómez-Ruiz, A. I., Gómez, J. L., Gu, M., Gurwell, M., Hada, K., Haggard, D., Haworth, K., Hecht, M. H., Hesper, R., Heumann, D., Ho, L. C., Ho, P., Honma, M., Huang, C.-W. L., Huang, L., Hughes, D. H., Ikeda, S., Impellizzeri, C. M. V., Inoue, M., Issaoun, S., James, D. J., Jannuzi, B. T., Janssen, M., Jeter, B., Jiang, W., Jiménez-Rosales, A., Johnson, M. D., Jorstad, S., Joshi, A. V., Jung, T., Karami, M., Karuppusamy, R., Kawashima, T., Keating, G. K., Kettenis, M., Kim, D.-J., Kim, J.-Y., Kim, J., Kim, J., Kino, M., Koay, J. Y., Kocherlakota, P., Kofuji, Y., Koch, P. M., Koyama, S., Kramer, C., Kramer, M., Krichbaum, T. P., Kuo, C.-Y., Bella, N. L., Lauer, T. R., Lee, D., Lee, S.-S., Leung, P. K., Levis, A., Li, Z., Lico, R., Lindahl, G., Lindqvist, M., Lisakov, M., Liu, J., Liu, K., Liuzzo, E., Lo, W.-P., Lobanov, A. P., Loinard, L., Lonsdale, C. J., Lu, R.-S., Mao, J., Marchili, N., Markoff, S., Marrone, D. P., Marscher, A. P., Martí-Vidal, I., Matsushita, S., Matthews, L. D., Medeiros, L., Menten, K. M., Michalik, D., Mizuno, I., Mizuno, Y., Moran, J. M., Moriyama, K., Moscibrodzka, M., Müller, C., Mus, A., Musoke, G., Myserlis, I., Nadolski, A., Nagai, H.,

Nagar, N. M., Nakamura, M., Narayan, R., Narayanan, G., Natarajan, I., Nathanail, A., Fuentes, S. N., Neilsen, J., Neri, R., Ni, C., Noutsos, A., Nowak, M. A., Oh, J., Okino, H., Olivares, H., Ortiz-León, G. N., Oyama, T., Özel, F., Palumbo, D. C. M., Paraschos, G. F., Park, J., Parsons, H., Patel, N., Pen, U.-L., Pesce, D. W., Piétu, V., Plambeck, R., PopStefanija, A., Porth, O., Pöttl, F. M., Prather, B., Preciado-López, J. A., Psaltis, D., Pu, H.-Y., Ramakrishnan, V., Rao, R., Rawlings, M. G., Raymond, A. W., Rezzolla, L., Ricarte, A., Ripperda, B., Roelofs, F., Rogers, A., Ros, E., Romero-Cañizales, C., Roshanineshat, A., Rottmann, H., Roy, A. L., Ruiz, I., Ruzsczyk, C., Rygl, K. L. J., Sánchez, S., Sánchez-Argüelles, D., Sánchez-Portal, M., Sasada, M., Satapathy, K., Savolainen, T., Schloerb, F. P., Schonfeld, J., Schuster, K.-F., Shao, L., Shen, Z., Small, D., Sohn, B. W., SooHoo, J., Souccar, K., Sun, H., Tazaki, F., Tetarenko, A. J., Tiede, P., Tilanus, R. P. J., Titus, M., Torne, P., Traianou, E., Trent, T., Trippe, S., Turk, M., van Bemmell, I., van Langevelde, H. J., van Rossum, D. R., Vos, J., Wagner, J., Ward-Thompson, D., Wardle, J., Weintroub, J., Wex, N., Wharton, R., Wielgus, M., Wiik, K., Witzel, G., Wondrak, M. F., Wong, G. N., Wu, Q., Yamaguchi, P., Yoon, D., Young, A., Young, K., Younsi, Z., Yuan, F., Yuan, Y.-F., Zensus, J. A., Zhang, S., Zhao, G.-Y., Zhao, S.-S., Agurto, C., Allardi, A., Amestica, R., Araneda, J. P., Arriagada, O., Berghuis, J. L., Bertarini, A., Berthold, R., Blanchard, J., Brown, K., Cárdenas, M., Cantzler, M., Caro, P., Castillo-Dominguez, E., Chan, T. L., Chang, C.-C., Chang, D. O., Chang, S.-H., Chang, S.-C., Chen, C.-C., Chilson, R., Chuter, T. C., Ciechanowicz, M., Colin-Beltran, E., Coulson, I. M., Crowley, J., Degenaar, N., Dornbusch, S., Durán, C. A., Everett, W. B., Faber, A., Forster, K., Fuchs, M. M., Gale, D. M., Geertsema, G., González, E., Graham, D., Gueth, F., Halverson, N. W., Han, C.-C., Han, K.-C., Hasegawa, Y., Hernández-Rebollar, J. L., Herrera, C., Herrero-Illana, R., Heyminck, S., Hirota, A., Hoge, J., Hostler Schimpf, S. R., Howie, R. E., Huang, Y.-D., Jiang, H., Jinchi, H., John, D., Kimura, K., Klein, T., Kubo, D., Kuroda, J., Kwon, C., Lacasse, R., Laing, R., Leitch, E. M., Li, C.-T., Liu, C.-T., Liu, K.-Y., Lin, L. C. .-, Lu, L.-M., Mac-Auliffe, F., Martin-Cocher, P., Matulonis, C., Maute, J. K., Messias, H., Meyer-Zhao, Z., Montaña, A., Montenegro-Montes, F., Montgomerie, W., Moreno Nolasco, M. E., Muders, D., Nishioka, H., Norton, T. J., Nystrom, G., Ogawa, H., Olivares, R., Oshiro, P., Pérez-Beaupuits, J. P., Parra, R., Phillips, N. M., Poirier, M., Pradel, N., Qiu, R., Raffin, P. A., Rahlin, A. S., Ramirez, J., Ressler, S., Reynolds, M., Rodriguez-Montoya, I., Saez-Madain, A. F., Santana, J., Shaw, P., Shirkey, L. E., Silva, K. M., Snow, W., Sousa, D., Sridharan, T. K., Stahm, W., Stark, A. A., Test, J., Torstensson, K., Venegas, P., Walther, C., Wei, T.-S., White, C., Wieching, G., Wijnands, R., Wouterloot, J. G. A., Yu, C.-Y., Yu (), W. y Zeballos, M. (mayo de 2022). First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way. *. 930.2, L12, pág. L12. DOI: 10.3847/2041-8213/ac6674.

- Ferrarese, L. y Merritt, D. (ago. de 2000). A Fundamental Relation between Supermassive Black Holes and Their Host Galaxies. *. 539.1, págs. L9-L12. DOI: 10.1086/312838. arXiv: astro-ph/0006053 [astro-ph].
- Fisher, D. B. y Drory, N. (jun. de 2010). Bulges of Nearby Galaxies with Spitzer: Scaling Relations in Pseudobulges and Classical Bulges. *. 716.2, págs. 942-969. DOI: 10.1088/0004-637X/716/2/942. arXiv: 1004.5393 [astro-ph.CO].
- Gabor, J. M. y Davé, R. (dic. de 2009). «Quenching Star Formation: Can AGN Do the Trick?» En: *The Monster's Fiery Breath: Feedback in Galaxies, Groups, and Clusters*. Ed. por S. Heinz y E. Wilcots. Vol. 1201. American Institute of Physics Conference Series, págs. 84-87. DOI: 10.1063/1.3293093. arXiv: 0909.1573 [astro-ph.CO].
- Giustini, M. y Proga, D. (oct. de 2019). A global view of the inner accretion and ejection flow around super massive black holes. Radiation-driven accretion disk winds in a physical context. *. 630, A94, A94. DOI: 10.1051/0004-6361/201833810. arXiv: 1904.07341 [astro-ph.GA].
- Greene, J. E. y Ho, L. C. (sep. de 2005). Estimating Black Hole Masses in Active Galaxies Using the H α Emission Line. *. 630.1, págs. 122-129. DOI: 10.1086/431897. arXiv: astro-ph/0508335 [astro-ph].
- Grogin, N. A., Conselice, C. J., Donley, J., Kartaltepe, J., Kocevski, D., Koekemoer, A. M., Lucas, R., McGrath, E., Rajan, A., Rosario, D., Salvato, M. y Villforth, C. (ago. de 2015). «Optical And Near-infrared Variability Among Distant Galactic Nuclei Of The CANDELS/Wide Fields». En: *IAU General Assembly*. Vol. 29, 2258076, pág. 2258076.
- Hernán-Caballero, A., Alonso-Herrero, A., Pérez-González, P. G., Cava, A., Cardiel, N. y the SHARDS team (mayo de 2013). Stellar populations and star formation in AGN hosts at intermediate redshift in the SHARDS survey. *arXiv e-prints* *, arXiv:1305.0641, arXiv:1305.0641. DOI: 10.48550/arXiv.1305.0641. arXiv: 1305.0641 [astro-ph.CO].
- Hickox, R. C. y Alexander, D. M. (sep. de 2018). Obscured Active Galactic Nuclei. *. 56, págs. 625-671. DOI: 10.1146/annurev-astro-081817-051803. arXiv: 1806.04680 [astro-ph.GA].
- Hinshaw, G., Larson, D., Komatsu, E., Spergel, D. N., Bennett, C. L., Dunkley, J., Nolte, M. R., Halpern, M., Hill, R. S., Odegard, N., Page, L., Smith, K. M., Weiland, J. L., Gold, B., Jarosik, N., Kogut, A., Limon, M., Meyer, S. S., Tucker, G. S., Wollack, E. y Wright, E. L. (oct. de 2013). Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Parameter Results. *. 208.2, 19, pág. 19. DOI: 10.1088/0067-0049/208/2/19. arXiv: 1212.5226 [astro-ph.CO].
- Ho, L. (ene. de 1999). «Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei: Observational Evidence and Astrophysical Consequences». En: *Observational Evidence for the Black Holes in the Universe*. Ed. por S. K. Chakrabarti. Vol. 234. Astrophysics and Space Science Library, pág. 157. DOI: 10.1007/978-94-011-4750-7_11.

- Ho, L. C., Darling, J. y Greene, J. E. (jul. de 2008). A New H I Survey of Active Galaxies. *The Astrophysical Journal Supplement Series* *. 177.1, pág. 103. DOI: 10.1086/588217. Disp. desde: <https://dx.doi.org/10.1086/588217>.
- Ho, L. C., Filippenko, A. V. y Sargent, W. L. W. (oct. de 1997). A Search for “Dwarf” Seyfert Nuclei. V. Demographics of Nuclear Activity in Nearby Galaxies. *. 487.2, págs. 568-578. DOI: 10.1086/304638. arXiv: astro-ph/9704108 [astro-ph].
- Hopkins, P. F., Hernquist, L., Cox, T. J., Di Matteo, T., Martini, P., Robertson, B. y Springel, V. (sep. de 2005). Black Holes in Galaxy Mergers: Evolution of Quasars. *. 630.2, págs. 705-715. DOI: 10.1086/432438. arXiv: astro-ph/0504190 [astro-ph].
- Hopkins, P. F., Richards, G. T. y Hernquist, L. (ene. de 2007). An Observational Determination of the Bolometric Quasar Luminosity Function. *. 654.2, págs. 731-753. DOI: 10.1086/509629. arXiv: astro-ph/0605678 [astro-ph].
- Hubble, E. P. (dic. de 1926). Extragalactic nebulae. *. 64, págs. 321-369. DOI: 10.1086/143018.
- Husemann, B., Jahnke, K., Sánchez, S. F., Wisotzki, L., Nugroho, D., Kupko, D. y Schramm, M. (sep. de 2014). Integral field spectroscopy of nearby QSOs - I. ENLR size-luminosity relation, ongoing star formation and resolved gas-phase metallicities. *. 443.1, págs. 755-783. DOI: 10.1093/mnras/stu1167. arXiv: 1406.4131 [astro-ph.GA].
- Husemann, B., Wisotzki, L., Sánchez, S. F. y Jahnke, K. (ene. de 2013). The properties of the extended warm ionised gas around low-redshift QSOs and the lack of extended high-velocity outflows. *. 549, A43, A43. DOI: 10.1051/0004-6361/201220076. arXiv: 1210.0566 [astro-ph.CO].
- Jahnke, K., Sánchez, S. F., Wisotzki, L., Barden, M., Beckwith, S. V. W., Bell, E. F., Borch, A., Caldwell, J. A. R., Häussler, B., Heymans, C., Joglee, S., McIntosh, D. H., Meisenheimer, K., Peng, C. Y., Rix, H. -, Somerville, R. S. y Wolf, C. (oct. de 2004). Ultraviolet Light from Young Stars in GEMS Quasar Host Galaxies at $1.8 < z < 2.75$. *. 614.2, págs. 568-585. DOI: 10.1086/423233. arXiv: astro-ph/0403462 [astro-ph].
- Kalinova, V., Colombo, D., Sánchez, S. F., Kodaira, K., Garcia-Benito, R., González Delgado, R., Rosolowsky, E. y Lacerda, E. A. D. (abr. de 2021). Star formation quenching stages of active and non-active galaxies. *. 648, A64, A64. DOI: 10.1051/0004-6361/202039896. arXiv: 2101.10019 [astro-ph.GA].
- Kaspi, S., Smith, P. S., Netzer, H., Maoz, D., Jannuzi, B. T. y Giveon, U. (abr. de 2000). Reverberation Measurements for 17 Quasars and the Size-Mass-Luminosity Relations in Active Galactic Nuclei. *. 533, págs. 631-649. DOI: 10.1086/308704. eprint: astro-ph/9911476.
- Kauffmann, G. y Haehnelt, M. (ene. de 2000). A unified model for the evolution of galaxies and quasars. *. 311.3, págs. 576-588. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2000.03077.x. arXiv: astro-ph/9906493 [astro-ph].

- Kauffmann, G., Heckman, T. M., Tremonti, C., Brinchmann, J., Charlot, S., White, S. D. M., Ridgway, S. E., Brinkmann, J., Fukugita, M., Hall, P. B., Ivezić, Ž., Richards, G. T. y Schneider, D. P. (dic. de 2003). The host galaxies of active galactic nuclei. *. 346.4, págs. 1055-1077. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2003.07154.x. arXiv: astro-ph/0304239 [astro-ph].
- Kaviraj, S. (jun. de 2014). The importance of minor-merger-driven star formation and black hole growth in disc galaxies. *. 440.4, págs. 2944-2952. DOI: 10.1093/mnras/stu338. arXiv: 1402.1166 [astro-ph.GA].
- Kewley, L. J., Dopita, M. A., Sutherland, R. S., Heisler, C. A. y Trevena, J. (jul. de 2001). Theoretical Modeling of Starburst Galaxies. *. 556, págs. 121-140. DOI: 10.1086/321545. eprint: astro-ph/0106324.
- Khachikian, E. Y. y Weedman, D. W. (sep. de 1974). An atlas of Seyfert galaxies. *. 192, págs. 581-589. DOI: 10.1086/153093.
- Kim, M., Barth, A. J., Ho, L. C. y Son, S. (oct. de 2021). A Hubble Space Telescope Imaging Survey of Low-redshift Swift-BAT Active Galaxies. *. 256.2, 40, pág. 40. DOI: 10.3847/1538-4365/ac133e. arXiv: 2107.04213 [astro-ph.GA].
- Kim, M., Ho, L. C., Peng, C. Y., Barth, A. J. e Im, M. (oct. de 2017). Stellar Photometric Structures of the Host Galaxies of Nearby Type 1 Active Galactic Nuclei. *. 232.2, 21, pág. 21. DOI: 10.3847/1538-4365/aa8a75. arXiv: 1710.02194 [astro-ph.GA].
- Knapen, J. H., Shlosman, I. y Peletier, R. F. (ene. de 2000). A Subarcsecond Resolution Near-Infrared Study of Seyfert and “Normal” Galaxies. II. Morphology. *. 529.1, págs. 93-100. DOI: 10.1086/308266. arXiv: astro-ph/9907379 [astro-ph].
- Kocevski, D. D., Faber, S. M., Mozena, M., Koekemoer, A. M., Nandra, K., Rangel, C., Laird, E. S., Brusa, M., Wuyts, S., Trump, J. R., Koo, D. C., Somerville, R. S., Bell, E. F., Lotz, J. M., Alexander, D. M., Bournaud, F., Conselice, C. J., Dahlen, T., Dekel, A., Donley, J. L., Dunlop, J. S., Finoguenov, A., Georgakakis, A., Giavalisco, M., Guo, Y., Grogin, N. A., Hathi, N. P., Juneau, S., Kartaltepe, J. S., Lucas, R. A., McGrath, E. J., McIntosh, D. H., Mobasher, B., Robaina, A. R., Rosario, D., Straughn, A. N., van der Wel, A. y Villforth, C. (ene. de 2012). CANDELS: Constraining the AGN-Merger Connection with Host Morphologies at $z \sim 2$. *. 744.2, 148, pág. 148. DOI: 10.1088/0004-637X/744/2/148. arXiv: 1109.2588 [astro-ph.CO].
- Kormendy, J. y Ho, L. C. (ago. de 2013). Coevolution (Or Not) of Supermassive Black Holes and Host Galaxies. *. 51.1, págs. 511-653. DOI: 10.1146/annurev-astro-082708-101811. arXiv: 1304.7762 [astro-ph.CO].
- Koss, M., Mushotzky, R., Treister, E., Veilleux, S., Vasudevan, R. y Trippe, M. (feb. de 2012). Understanding Dual Active Galactic Nucleus Activation in the nearby Universe. *. 746.2, L22, pág. L22. DOI: 10.1088/2041-8205/746/2/L22. arXiv: 1201.2944 [astro-ph.HE].

- Kovačević, J., Popović, L. Č. y Dimitrijević, M. S. (jul. de 2010). Analysis of Optical Fe II Emission in a Sample of Active Galactic Nucleus Spectra. *. 189.1, págs. 15-36. DOI: 10.1088/0067-0049/189/1/15. arXiv: 1004.2212 [astro-ph.CO].
- Kriss, G. (ene. de 1994). «Fitting Models to UV and Optical Spectral Data». En: *Astronomical Data Analysis Software and Systems III*. Ed. por D. R. Crabtree, R. J. Hanisch y J. Barnes. Vol. 61. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, pág. 437.
- Lacerna, I., Hernández-Toledo, H. M., Avila-Reese, V., Abonza-Sane, J. y del Olmo, A. (abr. de 2016). Isolated elliptical galaxies in the local Universe. *. 588, A79, A79. DOI: 10.1051/0004-6361/201527844. arXiv: 1511.08809 [astro-ph.GA].
- Lamastra, A., Bianchi, S., Matt, G., Perola, G. C., Barcons, X. y Carrera, F. J. (sep. de 2009). The bolometric luminosity of type 2 AGN from extinction-corrected [OIII]. No evidence of Eddington-limited sources. *. 504.1, págs. 73-79. DOI: 10.1051/0004-6361/200912023. arXiv: 0905.4439 [astro-ph.CO].
- Laor, A. (jun. de 2003). On the Nature of Low-Luminosity Narrow-Line Active Galactic Nuclei. *. 590.1, págs. 86-94. DOI: 10.1086/375008. arXiv: astro-ph/0302541 [astro-ph].
- Latif, M. A. y Ferrara, A. (oct. de 2016). Formation of Supermassive Black Hole Seeds. *. 33, e051, e051. DOI: 10.1017/pasa.2016.41. arXiv: 1605.07391 [astro-ph.GA].
- Lawrence, A. (mayo de 1987). Classification of active galaxies and the prospect of a unified phenomenology. *. 99, págs. 309-334. DOI: 10.1086/131989.
- Lewis, K. T., Eracleous, M. y Storch-Bergmann, T. (abr. de 2010). Long-term Profile Variability in Active Galactic Nucleus with Double-peaked Balmer Emission Lines. *. 187.2, págs. 416-446. DOI: 10.1088/0067-0049/187/2/416. arXiv: 1003.5700 [astro-ph.CO].
- Liu, H.-Y., Liu, W.-J., Dong, X.-B., Zhou, H., Wang, T., Lu, H. y Yuan, W. (ago. de 2019). A Comprehensive and Uniform Sample of Broad-line Active Galactic Nuclei from the SDSS DR7. *. 243.2, 21, pág. 21. DOI: 10.3847/1538-4365/ab298b. arXiv: 1906.05597 [astro-ph.GA].
- Lotz, J. M., Davis, M., Faber, S. M., Guhathakurta, P., Gwyn, S., Huang, J., Koo, D. C., Le Floch, E., Lin, L., Newman, J., Noeske, K., Papovich, C., Willmer, C. N. A., Coil, A., Conselice, C. J., Cooper, M., Hopkins, A. M., Metevier, A., Primack, J., Rieke, G. y Weiner, B. J. (ene. de 2008). The Evolution of Galaxy Mergers and Morphology at $z < 1.2$ in the Extended Groth Strip. *. 672.1, págs. 177-197. DOI: 10.1086/523659. arXiv: astro-ph/0602088 [astro-ph].
- Lotz, J. M., Primack, J. y Madau, P. (jul. de 2004). A New Nonparametric Approach to Galaxy Morphological Classification. *. 128.1, págs. 163-182. DOI: 10.1086/421849. arXiv: astro-ph/0311352 [astro-ph].
- Lynden-Bell, D. y Rees, M. J. (ene. de 1971). On quasars, dust and the galactic centre. *. 152, pág. 461. DOI: 10.1093/mnras/152.4.461.
- Marziani, P., Bon, E., Bon, N., D'Onofrio, M., Punsly, B., Śniegowska, M., Czerny, B., Panda, S., Martínez Aldama, M. L., del Olmo, A., Deconto-Machado, A., Negrete, C. A., Dultzin, D.,

- Buendia, T. y Garnica, K. (ene. de 2022). The main sequence of quasars: The taming of the extremes. *Astronomische Nachrichten* *. 343.1-2, e210082, e210082. DOI: 10.1002/asna.20210082. arXiv: 2111.04140 [astro-ph.GA].
- Marziani, P., Dultzin, D., Sulentic, J. W., Del Olmo, A., Negrete, C. A., Martinez-Aldama, M. L., D'Onofrio, M., Bon, E., Bon, N. y Stirpe, G. M. (mar. de 2018). A main sequence for quasars. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* *. 5, 6, pág. 6. DOI: 10.3389/fspas.2018.00006. arXiv: 1802.05575 [astro-ph.GA].
- Marziani, P., Sniegowska, M., Panda, S., Czerny, B., Negrete, C. A., Dultzin, D., Garnica, K., Martinez-Aldama, M. L., del Olmo, A., D'Onofrio, M., Machado, A. D., Ganci, V. y Extreme Team (feb. de 2021). The Main Sequence View of Quasars Accreting at High Rates: Influence of Star Formation. *Research Notes of the American Astronomical Society* *. 5.2, 25, pág. 25. DOI: 10.3847/2515-5172/abe46a.
- Marziani, P., Zamanov, R. K., Sulentic, J. W. y Calvani, M. (nov. de 2003). Searching for the physical drivers of eigenvector 1: influence of black hole mass and Eddington ratio. *. 345.4, págs. 1133-1144. DOI: 10.1046/j.1365-2966.2003.07033.x. arXiv: astro-ph/0307367 [astro-ph].
- Matsuoka, Y., Strauss, M. A., Price Ted N., I. y DiDonato, M. S. (ene. de 2014). Massive Star-forming Host Galaxies of Quasars on Sloan Digital Sky Survey Stripe 82. *. 780.2, 162, pág. 162. DOI: 10.1088/0004-637X/780/2/162. arXiv: 1312.2417 [astro-ph.GA].
- Matthews, T. A., Morgan, W. W. y Schmidt, M. (jul. de 1964). A Discussion of Galaxies Identified with Radio Sources. *. 140, pág. 35. DOI: 10.1086/147890.
- Menéndez-Delmestre, K., Sheth, K., Schinnerer, E., Jarrett, T. H. y Scoville, N. Z. (mar. de 2007). A Near-Infrared Study of 2MASS Bars in Local Galaxies: An Anchor for High-Redshift Studies. *. 657.2, págs. 790-804. DOI: 10.1086/511025. arXiv: astro-ph/0611540 [astro-ph].
- Mihos, J. C. y Hernquist, L. (ago. de 1994). Ultraluminous Starbursts in Major Mergers. *. 431, pág. L9. DOI: 10.1086/187460.
- Mihos, J. C. y Hernquist, L. (jun. de 1996). Gasdynamics and Starbursts in Major Mergers. *. 464, pág. 641. DOI: 10.1086/177353. arXiv: astro-ph/9512099 [astro-ph].
- Mingo, B., Watson, M. G., Rosen, S. R., Hardcastle, M. J., Ruiz, A., Blain, A., Carrera, F. J., Mateos, S., Pineau, F. -. y Stewart, G. C. (nov. de 2016). The MIXR sample: AGN activity versus star formation across the cross-correlation of WISE, 3XMM, and FIRST/NVSS. *. 462.3, págs. 2631-2667. DOI: 10.1093/mnras/stw1826. arXiv: 1607.06471 [astro-ph.GA].
- Morganti, R. (2017). The Many Routes to AGN Feedback. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* *. 4. ISSN: 2296-987X. DOI: 10.3389/fspas.2017.00042. Disp. desde: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspas.2017.00042>.
- Mortlock, D. J., Warren, S. J., Venemans, B. P., Patel, M., Hewett, P. C., McMahon, R. G., Simpson, C., Theuns, T., González-Solares, E. A., Adamson, A., Dye, S., Hambly, N. C., Hirst, P., Irwin,

- M. J., Kuiper, E., Lawrence, A. y Röttgering, H. J. A. (jun. de 2011). A luminous quasar at a redshift of $z = 7.085$. *. 474.7353, págs. 616-619. DOI: 10.1038/nature10159. arXiv: 1106.6088 [astro-ph.CO].
- Negrete, C. A., Dultzin, D., Marziani, P., Esparza, D., Sulentic, J. W., del Olmo, A., Martínez-Aldama, M. L., García López, A., D'Onofrio, M., Bon, N. y Bon, E. (dic. de 2018). Highly accreting quasars: The SDSS low-redshift catalog. *. 620, A118, A118. DOI: 10.1051/0004-6361/201833285. arXiv: 1809.08310 [astro-ph.GA].
- Netzer, H. (2013). *The Physics and Evolution of Active Galactic Nuclei*.
- Netzer, H. (ago. de 2015). Revisiting the Unified Model of Active Galactic Nuclei. *. 53, págs. 365-408. DOI: 10.1146/annurev-astro-082214-122302. arXiv: 1505.00811 [astro-ph.GA].
- Nevin, R., Blecha, L., Comerford, J. y Greene, J. (feb. de 2019). Accurate Identification of Galaxy Mergers with Imaging. *. 872.1, 76, pág. 76. DOI: 10.3847/1538-4357/aafd34. arXiv: 1901.01975 [astro-ph.GA].
- Noeske, K. G., Weiner, B. J., Faber, S. M., Papovich, C., Koo, D. C., Somerville, R. S., Bundy, K., Conselice, C. J., Newman, J. A., Schiminovich, D., Le Floch, E., Coil, A. L., Rieke, G. H., Lotz, J. M., Primack, J. R., Barmby, P., Cooper, M. C., Davis, M., Ellis, R. S., Fazio, G. G., Guhathakurta, P., Huang, J., Kassin, S. A., Martin, D. C., Phillips, A. C., Rich, R. M., Small, T. A., Willmer, C. N. A. y Wilson, G. (mayo de 2007). Star Formation in AEGIS Field Galaxies since $z=1.1$: The Dominance of Gradually Declining Star Formation, and the Main Sequence of Star-forming Galaxies. *. 660.1, págs. L43-L46. DOI: 10.1086/517926. arXiv: astro-ph/0701924 [astro-ph].
- North, E. V., Davis, T. A., Bureau, M., Cappellari, M., Iguchi, S., Liu, L., Onishi, K., Sarzi, M., Smith, M. D. y Williams, T. G. (nov. de 2019). WISDOM project - V. Resolving molecular gas in Keplerian rotation around the supermassive black hole in NGC 0383. *. 490.1, págs. 319-330. DOI: 10.1093/mnras/stz2598. arXiv: 1909.05884 [astro-ph.GA].
- O'Dea, C. P., de Vries, W. H., Koekemoer, A. M., Baum, S. A., Morganti, R., Fanti, R., Capetti, A., Tadhunter, C. N., Barthel, P. D., Axon, D. J. y Gelderman, R. (mayo de 2002). Hubble Space Telescope STIS Observations of the Kinematics of Emission-Line Nebulae in Three Compact Steep-Spectrum Radio Sources. *. 123.5, págs. 2333-2351. DOI: 10.1086/340076.
- Oh, K., Yi, S. K., Schawinski, K., Koss, M., Trakhtenbrot, B. y Soto, K. (jul. de 2015). A New Catalog of Type 1 AGNs and its Implications on the AGN Unified Model. *. 219, 1, pág. 1. DOI: 10.1088/0067-0049/219/1/1. arXiv: 1504.07247.
- Onishi, K., Iguchi, S., Davis, T. A., Bureau, M., Cappellari, M., Sarzi, M. y Blitz, L. (jul. de 2017). WISDOM project - I. Black hole mass measurement using molecular gas kinematics in NGC 3665. *. 468.4, págs. 4663-4674. DOI: 10.1093/mnras/stx631. arXiv: 1703.05247 [astro-ph.GA].
- Osterbrock, D. E. (1989). *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei*.

- Padovani, P., Alexander, D. M., Assef, R. J., De Marco, B., Giommi, P., Hickox, R. C., Richards, G. T., Smolčić, V., Hatziminaoglou, E., Mainieri, V. y Salvato, M. (ago. de 2017). Active galactic nuclei: what's in a name? *. 25.1, 2, pág. 2. DOI: 10.1007/s00159-017-0102-9. arXiv: 1707.07134 [astro-ph.GA].
- Peng, C. Y., Ho, L. C., Impey, C. D. y Rix, H.-W. (jul. de 2002). Detailed Structural Decomposition of Galaxy Images. *. 124.1, págs. 266-293. DOI: 10.1086/340952. arXiv: astro-ph/0204182 [astro-ph].
- Peng, C. Y., Ho, L. C., Impey, C. D. y Rix, H.-W. (jun. de 2010). Detailed Decomposition of Galaxy Images. II. Beyond Axisymmetric Models. *. 139.6, págs. 2097-2129. DOI: 10.1088/0004-6256/139/6/2097. arXiv: 0912.0731 [astro-ph.CO].
- Peterson, B. M. (2006). The Broad-Line Region in Active Galactic Nuclei. En: *Physics of Active Galactic Nuclei at all Scales*. Ed. por D. Alloin. Vol. 693, pág. 77. DOI: 10.1007/3-540-34621-X_3.
- Peterson, B. M. (mar. de 1993). Reverberation Mapping of Active Galactic Nuclei. *. 105, pág. 247. DOI: 10.1086/133140.
- Rakić, N. (oct. de 2022). Kinematics of the H α and H β broad-line region in an SDSS sample of type-1 AGNs. *. 516.2, págs. 1624-1634. DOI: 10.1093/mnras/stac2259. arXiv: 2208.04359 [astro-ph.GA].
- Reines, A. E. y Volonteri, M. (nov. de 2015). Relations between Central Black Hole Mass and Total Galaxy Stellar Mass in the Local Universe. *. 813, 82, pág. 82. DOI: 10.1088/0004-637X/813/2/82. arXiv: 1508.06274.
- Rembold, S. B., Shimoia, J. S., Storchi-Bergmann, T., Riffel, R., Riffel, R. A., Mallmann, N. D., do Nascimento, J. C., Moreira, T. N., Ilha, G. S., Machado, A. D., Cirolini, R., da Costa, L. N., Maia, M. A. G., Santiago, B. X., Schneider, D. P., Wylezalek, D., Bizyaev, D., Pan, K. y Müller-Sánchez, F. (dic. de 2017). The first 62 AGNs observed with SDSS-IV MaNGA - I. Their characterization and definition of a control sample. *. 472, págs. 4382-4403. DOI: 10.1093/mnras/stx2264. arXiv: 1709.10086.
- Roberts, M. S. y Haynes, M. P. (ene. de 1994). Physical Parameters along the Hubble Sequence. *. 32, págs. 115-152. DOI: 10.1146/annurev.aa.32.090194.000555.
- Rosario, D. J., McIntosh, D. H., van der Wel, A., Kartaltepe, J., Lang, P., Santini, P., Wuyts, S., Lutz, D., Rafelski, M., Villforth, C., Alexander, D. M., Bauer, F. E., Bell, E. F., Berta, S., Brandt, W. N., Conselice, C. J., Dekel, A., Faber, S. M., Ferguson, H. C., Genzel, R., Grogin, N. A., Kocevski, D. D., Koekemoer, A. M., Koo, D. C., Lotz, J. M., Magnelli, B., Maiolino, R., Mozena, M., Mullaney, J. R., Papovich, C. J., Popesso, P., Tacconi, L. J., Trump, J. R., Avadhuta, S., Bassett, R., Bell, A., Bernyk, M., Bournaud, F., Cassata, P., Cheung, E., Croton, D., Donley, J., DeGroot, L., Guedes, J., Hathi, N., Herrington, J., Hilton, M., Lai, K., Lani, C., Martig, M., McGrath, E., Mutch, S., Mortlock, A., McPartland, C., O'Leary, E., Peth, M.,

- Pillepich, A., Poole, G., Snyder, D., Straughn, A., Telford, O., Tonini, C. y Wandro, P. (ene. de 2015). The host galaxies of X-ray selected active galactic nuclei to $z = 2.5$: Structure, star formation, and their relationships from CANDELS and Herschel/PACS. *. 573, A85, A85. DOI: 10.1051/0004-6361/201423782. arXiv: 1409.5122 [astro-ph.GA].
- Sánchez, S. F., Avila-Reese, V., Hernandez-Toledo, H., Cortes-Suárez, E., Rodríguez-Puebla, A., Ibarra-Medel, H., Cano-Díaz, M., Barrera-Ballesteros, J. K., Negrete, C. A., Calette, A. R., de Lorenzo-Cáceres, A., Ortega-Minakata, R. A., Aquino, E., Valenzuela, O., Clemente, J. C., Storchi-Bergmann, T., Riffel, R., Schimoia, J., Riffel, R. A., Rembold, S. B., Brownstein, J. R., Pan, K., Yates, R., Mallmann, N. y Bitsakis, T. (abr. de 2018). SDSS IV MaNGA - Properties of AGN Host Galaxies. *. 54, págs. 217-260. arXiv: 1709.05438 [astro-ph.GA].
- Sánchez, S. F., Pérez, E., Sánchez-Blázquez, P., González, J. J., Rosáles-Ortega, F. F., Cano-Díaz, M., López-Cobá, C., Marino, R. A., Gil de Paz, A., Mollá, M., López-Sánchez, A. R., Ascasibar, Y. y Barrera-Ballesteros, J. (abr. de 2016a). Pipe3D, a pipeline to analyze Integral Field Spectroscopy Data: I. New fitting philosophy of FIT3D. *. 52, págs. 21-53. DOI: 10.48550/arXiv.1509.08552. arXiv: 1509.08552 [astro-ph.IM].
- Sánchez, S. F., Pérez, E., Sánchez-Blázquez, P., González, J. J., Rosáles-Ortega, F. F., Cano-Díaz, M., López-Cobá, C., Marino, R. A., Gil de Paz, A., Mollá, M., López-Sánchez, A. R., Ascasibar, Y. y Barrera-Ballesteros, J. (abr. de 2016b). Pipe3D, a pipeline to analyze Integral Field Spectroscopy Data: I. New fitting philosophy of FIT3D. *. 52, págs. 21-53. arXiv: 1509.08552 [astro-ph.IM].
- Satyapal, S., Ellison, S. L., McAlpine, W., Hickox, R. C., Patton, D. R. y Mendel, J. T. (jun. de 2014). Galaxy pairs in the Sloan Digital Sky Survey - IX. Merger-induced AGN activity as traced by the Wide-field Infrared Survey Explorer. *. 441.2, págs. 1297-1304. DOI: 10.1093/mnras/stu650. arXiv: 1403.7531 [astro-ph.GA].
- Schawinski, K., Simmons, B. D., Urry, C. M., Treister, E. y Glikman, E. (sep. de 2012). Heavily obscured quasar host galaxies at $z \sim 2$ are discs, not major mergers. *. 425.1, págs. L61-L65. DOI: 10.1111/j.1745-3933.2012.01302.x. arXiv: 1206.4063 [astro-ph.CO].
- Shen, J., Vanden Berk, D. E., Schneider, D. P. y Hall, P. B. (mar. de 2008). The Black Hole-Bulge Relationship in Luminous Broad-Line Active Galactic Nuclei and Host Galaxies. *. 135, págs. 928-946. DOI: 10.1088/0004-6256/135/3/928. arXiv: 0712.1630.
- Shen, Y. y Ho, L. C. (sep. de 2014). The diversity of quasars unified by accretion and orientation. *. 513.7517, págs. 210-213. DOI: 10.1038/nature13712. arXiv: 1409.2887 [astro-ph.GA].
- Shimizu, T. T., Mushotzky, R. F., Meléndez, M., Koss, M. y Rosario, D. J. (sep. de 2015). Decreased specific star formation rates in AGN host galaxies. *. 452.2, págs. 1841-1860. DOI: 10.1093/mnras/stv1407. arXiv: 1506.07039 [astro-ph.GA].
- Silk, J. y Rees, M. J. (mar. de 1998). Quasars and galaxy formation. *. 331, págs. L1-L4. DOI: 10.48550/arXiv.astro-ph/9801013. arXiv: astro-ph/9801013 [astro-ph].

- Simmons, B. D., Lintott, C., Schawinski, K., Moran, E. C., Han, A., Kaviraj, S., Masters, K. L., Urry, C. M., Willett, K. W., Bamford, S. P. y Nichol, R. C. (mar. de 2013). Galaxy Zoo: bulgeless galaxies with growing black holes. *. 429.3, págs. 2199-2211. DOI: 10.1093/mnras/sts491. arXiv: 1207.4190 [astro-ph.CO].
- Somerville, R. S., Hopkins, P. F., Cox, T. J., Robertson, B. E. y Hernquist, L. (dic. de 2008). A semi-analytic model for the co-evolution of galaxies, black holes and active galactic nuclei. *. 391.2, págs. 481-506. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2008.13805.x. arXiv: 0808.1227 [astro-ph].
- Springel, V., Di Matteo, T. y Hernquist, L. (ago. de 2005). Modelling feedback from stars and black holes in galaxy mergers. *. 361.3, págs. 776-794. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.09238.x. arXiv: astro-ph/0411108 [astro-ph].
- Stern, D., Assef, R. J., Benford, D. J., Blain, A., Cutri, R., Dey, A., Eisenhardt, P., Griffith, R. L., Jarrett, T. H., Lake, S., Masci, F., Petty, S., Stanford, S. A., Tsai, C.-W., Wright, E. L., Yan, L., Harrison, F. y Madsen, K. (jul. de 2012). Mid-infrared Selection of Active Galactic Nuclei with the Wide-Field Infrared Survey Explorer. I. Characterizing WISE-selected Active Galactic Nuclei in COSMOS. *. 753.1, 30, pág. 30. DOI: 10.1088/0004-637X/753/1/30. arXiv: 1205.0811 [astro-ph.CO].
- Stern, J. y Laor, A. (jun. de 2012). Type 1 AGN at low z- I. Emission properties. *. 423, págs. 600-631. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2012.20901.x. arXiv: 1203.3158.
- Storchi-Bergmann, T., Nemmen da Silva, R., Eracleous, M., Halpern, J. P., Wilson, A. S., Filippenko, A. V., Ruiz, M. T., Smith, R. C. y Nagar, N. M. (dic. de 2003). Evolution of the Nuclear Accretion Disk Emission in NGC 1097: Getting Closer to the Black Hole. *. 598, págs. 956-968. DOI: 10.1086/378938. eprint: astro-ph/0308327.
- Storchi-Bergmann, T., Schimoia, J. S., Peterson, B. M., Elvis, M., Denney, K. D., Eracleous, M. y Nemmen, R. S. (feb. de 2017). Double-Peaked Profiles: Ubiquitous Signatures of Disks in the Broad Emission Lines of Active Galactic Nuclei. *. 835.2, 236, pág. 236. DOI: 10.3847/1538-4357/835/2/236. arXiv: 1612.06843 [astro-ph.GA].
- Sulentic, J. W., Marziani, P. y Calvani, M. (abr. de 1998). Disk Models for MGC -06-30-15: The Variability Challenge. *. 497, págs. L65-L68. DOI: 10.1086/311277. eprint: astro-ph/9802305.
- Sulentic, J. W., Marziani, P. y Dultzin-Hacyan, D. (ene. de 2000). Phenomenology of Broad Emission Lines in Active Galactic Nuclei. *. 38, págs. 521-571. DOI: 10.1146/annurev.astro.38.1.521.
- Sulentic, J. W., Marziani, P., Zamanov, R., Bachev, R., Calvani, M. y Dultzin-Hacyan, D. (feb. de 2002). Average Quasar Spectra in the Context of Eigenvector 1. *. 566, págs. L71-L75. DOI: 10.1086/339594. eprint: astro-ph/0201362.

- Sulentic, J. W., Repetto, P., Stirpe, G. M., Marziani, P., Dultzin-Hacyan, D. y Calvani, M. (sep. de 2006). VLT/ISAAC spectra of the H β region in intermediate-redshift quasars. II. Black hole mass and Eddington ratio. *. 456.3, págs. 929-939. DOI: 10.1051/0004-6361:20054153. arXiv: astro-ph/0606309 [astro-ph].
- Tanner, R. y Weaver, K. A. (mar. de 2022). Simulations of AGN-driven Galactic Outflow Morphology and Content. *. 163.3, 134, pág. 134. DOI: 10.3847/1538-3881/ac4d23. arXiv: 2201.08360 [astro-ph.GA].
- Taylor, E. N., Hopkins, A. M., Baldry, I. K., Brown, M. J. I., Driver, S. P., Kelvin, L. S., Hill, D. T., Robotham, A. S. G., Bland-Hawthorn, J., Jones, D. H., Sharp, R. G., Thomas, D., Liske, J., Loveday, J., Norberg, P., Peacock, J. A., Bamford, S. P., Brough, S., Colless, M., Cameron, E., Conselice, C. J., Croom, S. M., Frenk, C. S., Gunawardhana, M., Kuijken, K., Nichol, R. C., Parkinson, H. R., Phillipps, S., Pimblet, K. A., Popescu, C. C., Prescott, M., Sutherland, W. J., Tuffs, R. J., van Kampen, E. y Wijesinghe, D. (dic. de 2011). Galaxy And Mass Assembly (GAMA): stellar mass estimates. *. 418.3, págs. 1587-1620. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.19536.x. arXiv: 1108.0635 [astro-ph.CO].
- Thorne, K. S. (jul. de 1974). Disk-Accretion onto a Black Hole. II. Evolution of the Hole. *. 191, págs. 507-520. DOI: 10.1086/152991.
- Tody, D. (ene. de 1986). «The IRAF Data Reduction and Analysis System». En: *Instrumentation in astronomy VI*. Ed. por D. L. Crawford. Vol. 627. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, pág. 733. DOI: 10.1117/12.968154.
- Treister, E., Schawinski, K., Urry, C. M. y Simmons, B. D. (oct. de 2012). Major Galaxy Mergers Only Trigger the Most Luminous Active Galactic Nuclei. *. 758.2, L39, pág. L39. DOI: 10.1088/2041-8205/758/2/L39. arXiv: 1209.5393 [astro-ph.CO].
- Urry, C. M. y Padovani, P. (sep. de 1995). Unified Schemes for Radio-Loud Active Galactic Nuclei. *. 107, pág. 803. DOI: 10.1086/133630. arXiv: astro-ph/9506063 [astro-ph].
- Valentini, M., Gallerani, S. y Ferrara, A. (oct. de 2021). Host galaxies of high-redshift quasars: SMBH growth and feedback. *. 507.1, págs. 1-26. DOI: 10.1093/mnras/stab1992. arXiv: 2107.05638 [astro-ph.GA].
- Vanden Berk, D. E., Richards, G. T., Bauer, A., Strauss, M. A., Schneider, D. P., Heckman, T. M., York, D. G., Hall, P. B., Fan, X., Knapp, G. R., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., Bernardi, M., Briggs, J. W., Brinkmann, J., Brunner, R., Burles, S., Carey, L., Castander, F. J., Connolly, A. J., Crocker, J. H., Csabai, I., Doi, M., Finkbeiner, D., Friedman, S., Frieman, J. A., Fukugita, M., Gunn, J. E., Hennessy, G. S., Ivezić, Ž., Kent, S., Kunszt, P. Z., Lamb, D. Q., Leger, R. F., Long, D. C., Loveday, J., Lupton, R. H., Meiksin, A., Merelli, A., Munn, J. A., Newberg, H. J., Newcomb, M., Nichol, R. C., Owen, R., Pier, J. R., Pope, A., Rockosi, C. M., Schlegel, D. J., Siegmund, W. A., Smei, S., Snir, Y., Stoughton, C., Stubbs, C., SubbaRao, M., Szalay, A. S., Szokoly, G. P., Tremonti, C., Uomoto, A., Waddell, P., Yanny, B. y Zheng,

- W. (ago. de 2001). Composite Quasar Spectra from the Sloan Digital Sky Survey. *. 122.2, págs. 549-564. DOI: 10.1086/321167. arXiv: astro-ph/0105231 [astro-ph].
- Vázquez-Mata, J. A., Hernández-Toledo, H. M., Avila-Reese, V., Herrera-Endoqui, M., Rodríguez-Puebla, A., Cano-Díaz, M., Lacerna, I., Martínez-Vázquez, L. A. y Lane, R. (mayo de 2022). SDSS IV MaNGA: visual morphological and statistical characterization of the DR15 sample. *. 512.2, págs. 2222-2244. DOI: 10.1093/mnras/stac635. arXiv: 2203.02565 [astro-ph.GA].
- Vestergaard, M. y Peterson, B. M. (abr. de 2006). Determining Central Black Hole Masses in Distant Active Galaxies and Quasars. II. Improved Optical and UV Scaling Relationships. *. 641, págs. 689-709. DOI: 10.1086/500572. eprint: astro-ph/0601303.
- Villforth, C., Hamilton, T., Pawlik, M. M., Hewlett, T., Rowlands, K., Herbst, H., Shankar, F., Fontana, A., Hamann, F., Koekemoer, A., Pforr, J., Trump, J. y Wuyts, S. (abr. de 2017). Host galaxies of luminous $z \sim 0.6$ quasars: major mergers are not prevalent at the highest AGN luminosities. *. 466.1, págs. 812-830. DOI: 10.1093/mnras/stw3037. arXiv: 1611.06236 [astro-ph.GA].
- Vitale, M., Mignoli, M., Cimatti, A., Lilly, S. J., Carollo, C. M., Contini, T., Kneib, J. .-, Le Fevre, O., Mainieri, V., Renzini, A., Scodreggio, M., Zamorani, G., Bardelli, S., Barnes, L., Bolzonella, M., Bongiorno, A., Bordoloi, R., Bschorr, T. J., Cappi, A., Caputi, K., Coppa, G., Cucciati, O., de la Torre, S., de Ravel, L., Franzetti, P., Garilli, B., Iovino, A., Kampczyk, P., Knobel, C., Koekemoer, A. M., Kovač, K., Lamareille, F., Le Borgne, J. .-, Le Brun, V., López-Sanjuan, C., Maier, C., McCracken, H. J., Moresco, M., Nair, P., Oesch, P. A., Pello, R., Peng, Y., Pérez Montero, E., Pozzetti, L., Presotto, V., Silverman, J., Tanaka, M., Tasca, L., Tresse, L., Vergani, D., Welikala, N. y Zucca, E. (ago. de 2013). Investigating the relationship between AGN activity and stellar mass in zCOSMOS galaxies at $0 < z < 1$ using emission-line diagnostic diagrams. *. 556, A11, A11. DOI: 10.1051/0004-6361/201220258. arXiv: 1304.2776 [astro-ph.CO].
- Vito, F., Vignali, C., Gilli, R., Comastri, A., Iwasawa, K., Brandt, W. N., Alexander, D. M., Brusa, M., Lehmer, B., Bauer, F. E., Schneider, D. P., Xue, Y. Q. y Luo, B. (ene. de 2013). The high-redshift ($z > 3$) active galactic nucleus population in the 4-Ms Chandra Deep Field-South. *. 428.1, págs. 354-369. DOI: 10.1093/mnras/sts034. arXiv: 1209.4193 [astro-ph.CO].
- Volonteri, M., Habouzit, M. y Colpi, M. (sep. de 2021). The origins of massive black holes. *Nature Reviews Physics* *. 3.11, págs. 732-743. DOI: 10.1038/s42254-021-00364-9. arXiv: 2110.10175 [astro-ph.GA].
- Wandel, A., Peterson, B. M. y Malkan, M. A. (dic. de 1999). Central Masses and Broad-Line Region Sizes of Active Galactic Nuclei. I. Comparing the Photoionization and Reverberation Techniques. *. 526.2, págs. 579-591. DOI: 10.1086/308017. eprint: astro-ph/9905224.
- Wang, F., Yang, J., Fan, X., Hennawi, J. F., Barth, A. J., Banados, E., Bian, F., Boutsia, K., Connor, T., Davies, F. B., Decarli, R., Eilers, A.-C., Farina, E. P., Green, R., Jiang, L., Li, J.-T., Mazzucchelli, C., Nanni, R., Schindler, J.-T., Venemans, B., Walter, F., Wu, X.-B. y Yue, M. (ene. de

- 2021). A Luminous Quasar at Redshift 7.642. *. 907.1, L1, pág. L1. DOI: 10.3847/2041-8213/abd8c6. arXiv: 2101.03179 [astro-ph.GA].
- Willott, C. J., Delorme, P., Reylé, C., Albert, L., Bergeron, J., Crampton, D., Delfosse, X., Forveille, T., Hutchings, J. B., McLure, R. J., Omont, A. y Schade, D. (mar. de 2009). Six More Quasars at Redshift 6 Discovered by the Canada-France High-z Quasar Survey. *. 137.3, págs. 3541-3547. DOI: 10.1088/0004-6256/137/3/3541. arXiv: 0901.0565 [astro-ph.GA].
- Worthey, G., Faber, S. M., Gonzalez, J. J. y Burstein, D. (oct. de 1994). Old Stellar Populations. V. Absorption Feature Indices for the Complete Lick/IDS Sample of Stars. *. 94, pág. 687. DOI: 10.1086/192087.
- Wylezalek, D., Flores, A. M., Zakamska, N. L., Greene, J. E. y Riffel, R. A. (mar. de 2020). Ionized gas outflow signatures in SDSS-IV MaNGA active galactic nuclei. *. 492.4, págs. 4680-4696. DOI: 10.1093/mnras/staa062. arXiv: 1911.10212 [astro-ph.GA].
- Wylezalek, D., Zakamska, N. L., Greene, J. E., Riffel, R. A., Drory, N., Andrews, B. H., Merloni, A. y Thomas, D. (feb. de 2018). SDSS-IV MaNGA: identification of active galactic nuclei in optical integral field unit surveys. *. 474.2, págs. 1499-1514. DOI: 10.1093/mnras/stx2784. arXiv: 1710.09389 [astro-ph.GA].
- Yan, R., Bundy, K., Law, D. R., Bershad, M. A., Andrews, B., Cherinka, B., Diamond-Stanic, A. M., Drory, N., MacDonald, N., Sánchez-Gallego, J. R., Thomas, D., Wake, D. A., Weijmans, A.-M., Westfall, K. B., Zhang, K., Aragón-Salamanca, A., Belfiore, F., Bizyaev, D., Blanc, G. A., Blanton, M. R., Brownstein, J., Cappellari, M., D'Souza, R., Emsellem, E., Fu, H., Gaulme, P., Graham, M. T., Goddard, D., Gunn, J. E., Harding, P., Jones, A., Kinemuchi, K., Li, C., Li, H., Maiolino, R., Mao, S., Maraston, C., Masters, K., Merrifield, M. R., Oravetz, D., Pan, K., Parejko, J. K., Sanchez, S. F., Schlegel, D., Simmons, A., Thanjavur, K., Tinker, J., Tremonti, C., van den Bosch, R. y Zheng, Z. (dic. de 2016). SDSS-IV MaNGA IFS Galaxy Survey—Survey Design, Execution, and Initial Data Quality. *. 152.6, 197, pág. 197. DOI: 10.3847/0004-6256/152/6/197. arXiv: 1607.08613 [astro-ph.GA].
- Yang, X., Mo, H. J., van den Bosch, F. C., Pasquali, A., Li, C. y Barden, M. (dic. de 2007). Galaxy Groups in the SDSS DR4. I. The Catalog and Basic Properties. *. 671.1, págs. 153-170. DOI: 10.1086/522027. arXiv: 0707.4640 [astro-ph].
- Zamfir, S., Sulentic, J. W., Marziani, P. y Dultzin, D. (abr. de 2010). Detailed characterization of $H\beta$ emission line profile in low-z SDSS quasars. *. 403.4, págs. 1759-1786. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2009.16236.x. arXiv: 0912.4306 [astro-ph.CO].