



María González Falcón

*Searching for fossil outflows in non-active galaxies*

Trabajo Fin de Máster  
Máster de Astrofísica  
La Laguna, Julio de 2024

DIRIGIDO POR

*Cristina Ramos Almeida*

*Ignacio Martín Navarro*

---

## Agradecimientos

A mis tutores, Cristina y Nacho, por su dedicación, paciencia y ayuda.

A mis amigos, por hacer más llevadero el camino con las noches de conversaciones, vino y queso.

En especial, a mis padres, por darme ánimos y apoyo y sobretodo por tener que soportar oír quejarme todo el rato.

María González Falcón  
La Laguna

---

# Abstract

---

## *Abstract*

---

*Black holes began as an idea, a purely mathematical construct, unable to be proven and without physical evidence. The idea of an astronomical object so massive that it would be able to generate an extreme deformation in the space-time continuum to the point that not even light could escape its gravitational pull.*

*However, in the 20th century they were studied as possible solutions to Einstein's General Relativity equations and during the last decade significant observational progress has been made, remarkably, the capture of the first image of a black hole, located in the nucleus of the galaxy M87, 55 million light years away and with a mass of more than 6 million solar masses, has been achieved in 2019.*

*We can find three types of black holes: small ones, from 1 to 100 solar masses, intermediate ones, that have not yet been observationally confirmed, from 100 to 10.000 solar masses and enormous supermassive black holes, from  $10^5$  to  $10^9$  solar masses, residing in the cores of massive galaxies like ours.*

*In this final category, we have active supermassive black holes located in the cores of massive galaxies: active galactic nuclei (AGN).*

*Signs that an AGN may be present in the core of a galaxy include: strong emission of UV photons from a compact region at the galaxy's center, a pronounced Doppler effect evident in the broadening of emission lines and a strong non-thermal emission, radio structures of varying extents and emission of X-rays, gamma rays, and cosmic rays.*

*AGNs represent a significant factor in the evolution of galaxies. When we study the formation and evolution of galaxies using simulations that do not include the energy that AGNs inject into the interstellar medium, we find a disagreement between what the observations show and the models. In models that incorporate AGN feedback, the energy released by the AGN heats the medium, stopping or slowing down star formation, resulting in a more realistic number of massive galaxies. The incorporation has thus allowed the evolution of galaxies to be fit in a more accurate way, regulating the central black hole and the growth of the host galaxy. As a result AGN feedback has develop more robust models and simulations.*

*A consequence or form of feedback are AGN outflows. These outflows are massive gas flows that can reach speeds  $>1000$  km/s and mass flow rates  $>1000 M_{\odot}$ /year and modulate the evolution of their host galaxies.*

*One way to observe outflows driven by AGN feedback is by using prominent optical emission lines such as [OIII]5007Å or H $\alpha$ . AGN outflows result in asymmetries in their profiles, corresponding to more turbulent gas with higher velocity dispersion and shifted at high velocities.*

*According to the currently adopted paradigm, active galactic nuclei are phases through which galaxies can go through. Therefore, a massive galaxy could undergo one or more short active phases ( $<100$  Myr), depending on the availability of gas to trigger and feed the supermassive black hole.*

*The outflow expelled by the AGN will persist while its velocity decays until it disappears and becomes indistinguishable from the galactic gas. Thus, it will continue to expand while its velocity gradually decreases until the pressure drops to the typical values of the impacted interstellar medium. In this way, it can survive long after its black hole has stopped accreting efficiently and has switched off. These outflows associated with inactive AGNs are called fossil outflows.*

*Considering this scenario, if nuclear activity is an on-off phenomenon, it should be possible to detect fossil outflows in samples of galaxies in which the AGN has turned off but the outflows are still visible.*

*With the premise of finding these fossil outflows and as part of an ambitious project led by C. Ramos Almeida whose objective is to characterize the properties of the AGN-driven outflow using optical, infrared (GTC, VLT, JWST) and millimetric (ALMA) data to finally study its impact on galaxy evolution, the main objective of this project is to find fossil outflows in a selected sample of non-active galaxies (galaxies undergoing star formation) from the SDSS catalogue. In addition to this main objective, the following objectives have been addressed: perform fits of the stellar component and the [OIII] profiles to spot fossil outflows in galaxies occupying the Star Forming region of the BPT diagram, measure the gas kinematics of the targets with more extreme kinematics and then comparing the spectra of candidates for fossil outflows with galaxies in the AGN region of the BPT diagram with the same stellar sigma. The outcome of this project will serve as an input for models and simulations, and will shed light into the AGN-flickering scenario.*

*In order to accomplish these objectives a BPT diagram has been made with the galaxies of the SDSS sample and a first study of the profiles of the non-active galaxies (Star Forming) with velocity dispersion of [OIII]5007Å greater than 250 km/s. Subsequently, their fits have been made and the results obtained have been analyzed. With these fits, it has been possible to determine which galaxies are the*

*most interesting ones for the study and subsequently a control sample of AGN galaxies has been taken for comparison with the sample of Star Forming galaxies. Thereafter, a sample of 59 non-active galaxies with high  $\sigma[\text{OIII}]$  have been obtained as possible non-active galaxies with fossil outflows. To conclude, the Star Forming sample and the AGN control sample has been divided into three categories according to three  $\sigma$  ranges taken in order to study their spectra and to represent them in the BPT diagram, highlighting these three categories.*

*Throughout this project, a complementary approach has been adopted to the study of nuclear activity as an intermittent phenomenon by searching for fossil outflows in non-active galaxies. As a result of the study carried out, the work concludes with a sample of 33 galaxies from the Star Forming region of the BPT diagram that are candidates for having fossil outflows, these being those with velocities dispersion greater than 200 km/s.*

**Keywords:** *AGN – Star Forming – outflows – BPT –  $\sigma[\text{OIII}]$*

---

# Contenido

<b>Agradecimientos</b> .....	III
<b>Abstract</b> .....	V
<b>Introducción</b> .....	XI
<b>1. Objetivos</b> .....	1
<b>2. Metodología</b> .....	3
2.1. Obtención de datos .....	3
2.2. Estudio de espectros y ajustes .....	7
2.3. Selección de muestra de control y análisis de datos .....	7
2.4. Estudio de la muestra definitiva y su posición en el diagrama BPT .....	9
<b>3. Descripción y Discusión de los Resultados</b> .....	13
3.1. Ajustes .....	13
3.1.1. Análisis de los datos del ajuste y comparación con los datos del catálogo SDSS .....	13
3.2. Stacks de muestras definitivas Star Forming y AGN .....	16
3.3. BPT .....	19
<b>4. Conclusiones</b> .....	21
4.1. Conclusiones .....	21
4.2. Trabajo Futuro .....	22
<b>Bibliografía</b> .....	23
<b>Anexo</b> .....	29
A.1. Tabla de datos .....	29
A.2. Ajustes .....	32
A.2.1. Galaxias Star Forming con $\sigma[\text{OIII}]$ alta .....	32
A.2.2. Galaxias Star Forming con $\sigma[\text{OIII}]$ intermedia .....	33
A.2.3. Galaxias Star Forming con $\sigma[\text{OIII}]$ baja .....	35

---

## Introducción

Desde hace tres siglos se ha teorizado sobre la idea de un objeto astronómico tan masivo que fuera capaz de generar una deformación extrema en el tejido espacio temporal hasta el punto de que ni si quiera la luz pudiera escapar de su atracción gravitatoria.

En 1783 el geólogo y clérigo inglés J. Michell describió en una carta enviada a la Royal Society como sus cálculos le habían llevado a un cuerpo invisible con el mismo radio que el Sol pero una densidad 500 veces mayor y una velocidad de escape igual a la de la luz, suponiendo así que ni esta, una vez atrapada, pudiera huir de él [[Montgomery \*et al.\* 2009](#)].

Así nació la idea de uno de los fenómenos más misteriosos de la astrofísica: los agujeros negros. Comenzaron como una idea, un constructo puramente matemático, incapaz de ser comprobado y sin evidencias físicas.

Sin embargo fueron negados durante mucho tiempo hasta que en el siglo XX, tras el desarrollo de la Relatividad General de Einstein (1915) se empezaron a encontrar soluciones matemáticas a las ecuaciones que indicaban la posible existencia de estos objetos. A partir de entonces diversos científicos, como K. Schwarzschild (1915), S. Chandrasekhar (1930) o S. Hawking y R. Penrose estudiaron estas posibles soluciones.

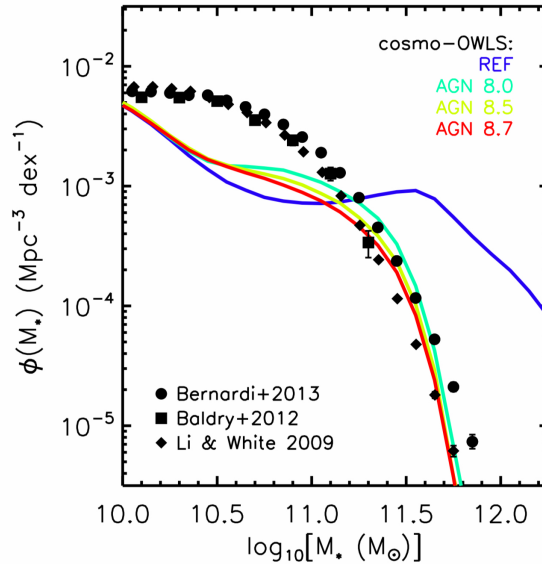
En la última década han habido grandes avances observacionales en este ámbito. En 2015 se detectaron por primera vez las ondas gravitacionales predichas por Einstein un siglo antes. En particular se detectaron ondas emitidas en la fusión de dos agujeros negros que giraban entre sí. Y en 2019, gracias a una colaboración internacional, se captó la primera imagen de un agujero negro, localizado en el núcleo de la galaxia M87, a 55 millones de años luz y con una masa de más de 6 millones de masas solares [[The Event Horizon Telescope Collaboration \*et al.\* 2019](#)].

Podemos encontrar tres clases de agujeros negros: pequeños, de 1 a 100  $M_{\odot}$ , intermedios, que aún no se han confirmado observacionalmente, de 100 a 10.000  $M_{\odot}$  [[Graham \*et al.\* 2015](#)], y enormes agujeros negros supermasivos, de entre  $10^5$

a  $10^9 M_{\odot}$  ([Barth *et al.* 2004], [Barth *et al.* 2003]) alojados en los núcleos de galaxias masivas como la nuestra.

En esta última categoría encontramos los agujeros negros supermasivos activos localizados en centros de galaxias masivas: los núcleos de galaxias activas (AGN). Algunas señales de que un AGN puede habitar en el núcleo de una galaxia son una emisión fuerte de fotones UV de una región compacta en el centro de la galaxia, un fuerte efecto Doppler apreciable por el ensanchamiento de las líneas de emisión y una fuerte emisión no térmica, estructuras de radio más o menos extensas y emisión de rayos X, rayos Gamma y rayos cósmicos.

Los AGN son un importante elemento en la evolución de las galaxias. Cuando estudiamos la formación y evolución de galaxias mediante simulaciones que no incluyen la energía que los AGN inyectan en el medio interestelar (retroalimentación del AGN), nos encontramos con un desacuerdo entre lo que muestran las observaciones y los modelos (figura 0.1). La energía inyectada calienta el medio deteniendo o ralentizando la formación de estrellas, lo que resulta en un número más realista de galaxias masivas ayudando a corregir la discrepancia entre las observaciones y las simulaciones. Una consecuencia o forma de retroalimentación son los vientos impulsados por AGN. Estos vientos son flujos gaseosos masivos que pueden alcanzar velocidades  $>1000$  km/s y tasas de flujo másico  $>1000 M_{\odot}/\text{año}$  ([Feruglio *et al.* 2010]; [Sturm *et al.* 2011]; [Cicone *et al.* 2014]; [Rupke *et al.* 2017]; [Fiore *et al.* 2017]; [Lutz *et al.* 2020]; [Fluetsch *et al.* 2019]; [Rupke y Veilleux *et al.* 2011]) y modular la evolución de las galaxias anfitrionas.

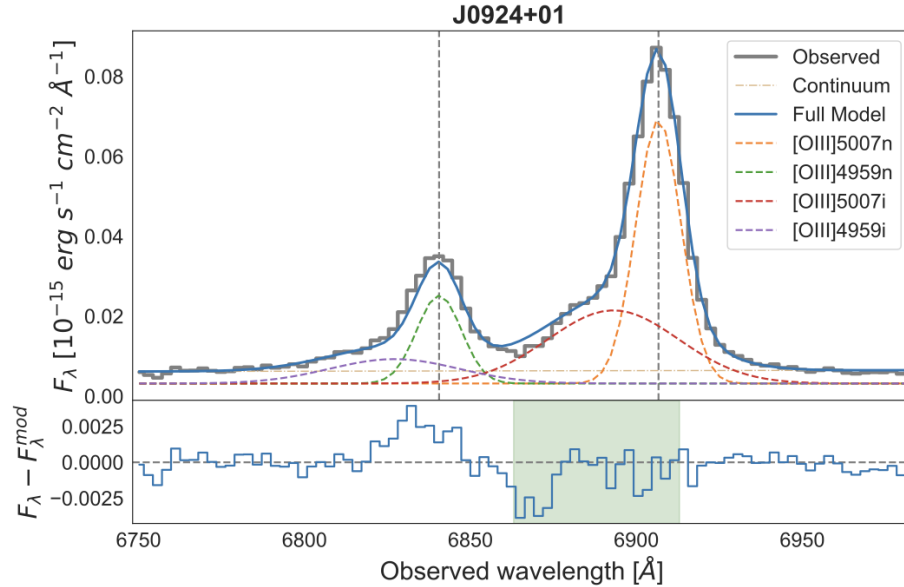


**Figura 0.1.** Discrepancia entre observaciones y modelos que no implementan la retroalimentación AGN. [McCarthy *et al.* 2017] examina la GSMF (número de galaxias por unidad comóvil Megaparsec por década en masa estelar). En la simulación de se muestra el cálculo de las masas estelares de galaxias simuladas teniendo en cuenta la retroalimentación del AGN y sin tenerla en cuenta.



La retroalimentación del AGN en galaxias masivas consigue que los modelos ajusten la función de luminosidad. Además cuando se aplica a simulaciones semianalíticas ([Bower *et al.* 2006]; [Croton *et al.* 2006]) e hidrodinámicas ([Sijacki *et al.* 2007]; [Puchwein y Springel *et al.* 2013]; [Dubois *et al.* 2014]; [Vogelsberger *et al.* 2014]; [Schaye *et al.* 2015]; [Tremmel *et al.* 2019]) muestran como se regula la formación estelar y la función de masa de los agujeros negros de las galaxias masivas. Esta incorporación ha permitido modelar así la evolución de las galaxias de una forma más real y exacta y regulando el agujero negro central y el crecimiento de la propia galaxia.

Una forma de observar los vientos impulsados por el AGN es usando líneas de emisión en el óptico prominentes como [OIII]5007Å o H $\alpha$  [Oh *et al.* 2024]. Los vientos del AGN se traducen en asimetrías en sus perfiles, correspondiéndose a un gas más turbulento, con mayor velocidad de dispersión ( $\sigma$ ), y desplazándose a altas velocidades. Las líneas de emisión procedentes de gas en la narrow-line region (NLR) típicamente presentan FWHM  $\sim$  500 km/s ([Netzer 1990], [Groves 2007]). Al perturbar el gas y aumentar las velocidades de dispersión, la presencia de los vientos AGN resulta en la aparición de una componente ancha en las líneas. En la figura 0.2 se puede apreciar la asimetría en la línea de emisión [OIII]5007Å debida a vientos AGN ajustada con una componente estrecha y una componente ancha [Hervella *et al.* 2023].



**Figura 0.2.** Ajuste de las dos componentes cinemáticas de la línea de emisión [OIII]5007Å. En ella se puede ver la asimetría causada por los vientos AGN [Hervella *et al.* 2023].

Actualmente, se entienden los núcleos galácticos activos como fases por las que pueden pasar las galaxias. Indicios de eventos AGN históricos (que

no están activos actualmente) y variabilidad en la luminosidad de los AGN ([Peterson *et al.* 2001], [Lintott *et al.* 2009], [Mostert *et al.* 2023]) confirman que el crecimiento de los agujeros negros y la emisión de energía resultante es un proceso variable y transitorio, lo que lleva a considerar a los AGN como fases [Harrison y Ramos Almeida 2024].

Por tanto, una galaxia masiva podría pasar por una o más fases activas cortas (<100 Myr) [Hickox *et al.* 2014], dependiendo de la disponibilidad de gas para disparar y alimentar el agujero negro supermasivo.

El viento expulsado por el AGN persistirá mientras su velocidad decae hasta desaparecer y volverse indistinguible del gas galáctico. Así, seguirá expandiéndose mientras su velocidad disminuye gradualmente y podrá persistir hasta 10 veces más que el propio episodio AGN causante [Zubovas *et al.* 2023]. De esta manera, puede sobrevivir y detectarse mucho después de que su agujero negro haya dejado de acretar de manera eficiente y se haya apagado ([King *et al.* 2011]; [Zubovas y Nardini *et al.* 2020]; [Zubovas *et al.* 2022]).

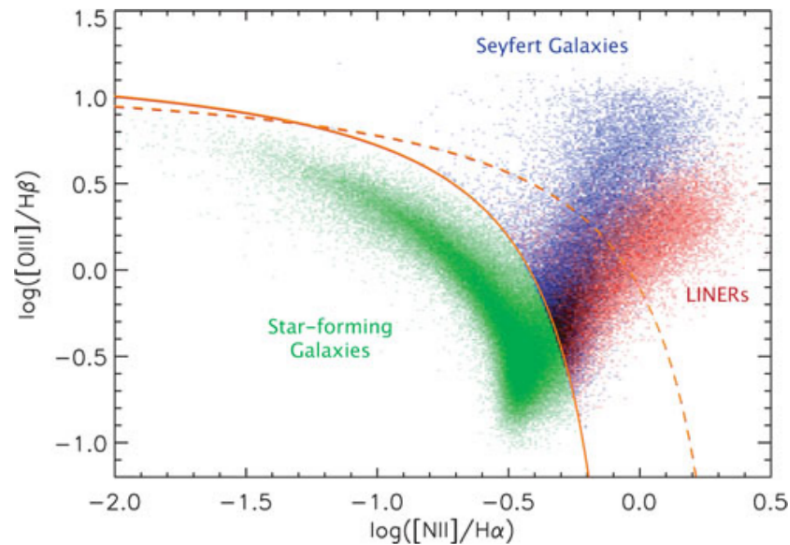
Por tanto, como los vientos del AGN sobreviven más allá de la fase de actividad de estos, debe de haber galaxias con núcleo activo apagado pero con vientos aún detectables. A estos vientos asociados a AGN no activos se les denomina vientos fósiles.

Observaciones recientes revelaron la existencia de vientos con valores excepcionalmente altos de el cociente de impulso ( $\zeta > 100$ ) y el cociente de energía ( $\varepsilon k > 0.1$ ) [Fluetsch *et al.* 2019]. Estas fuentes son valores atípicos en las relaciones de vientos clásicos, considerando sus luminosidades actuales, y por lo que representan buenos candidatos para ser vientos fósiles. Si la actividad nuclear es un fenómeno intermitente se podrían detectar vientos fósiles en varias galaxias inactivas donde el AGN esté apagado, pero el viento sigue siendo visible.

Para que aparezcan vientos fósiles debe cumplirse que:

$$L_{AGN} > 0.02 \frac{f_{gas,obs}}{0.1} \frac{f_*}{0.03} L_{Edd} ,$$

donde  $f_{gas,obs}$  denota la fracción de gas y  $f_*$  el ratio de masa estelar a masa de halo [Zubovas *et al.* 2023].



**Figura 0.3.** Diagrama BPT de las galaxias del catálogo de datos del SDSS [Ahumada *et al.* 2020]. En él se usan las líneas de emisión [OIII]5007Å, [NII]6583Å, H $\alpha$  6563Å, and H $\beta$  4861Å. El diagrama pretende distinguir las galaxias donde el gas está ionizado por estrellas jóvenes (Star Forming) de aquellas cuya ionización es debida a la actividad de un AGN (Seyfert y LINERs). [Baldwin *et al.* 1981]

Con la premisa de encontrar estos vientos fósiles y como parte de un ambicioso proyecto liderado por C. Ramos Almeida cuyo objetivo es caracterizar las propiedades de los vientos impulsado por AGN utilizando datos ópticos, infrarrojos (GTC, VLT, JWST) y milimétricos (ALMA) para finalmente estudiar su impacto en la evolución de las galaxias se partirá de una búsqueda de galaxias fuera de la región AGN del diagrama BPT con velocidades de dispersión [OIII] mayores que 250 km/s en una muestra del catálogo Sloan Digital Sky Survey (SDSS) [Ahumada *et al.* 2020] de galaxias no activas (galaxias que estén formando estrellas (figura 0.3). Estas serán las candidatas a poseer vientos fósiles. Se empezará con la distribución de galaxias de la muestra del SDSS en el diagrama BPT y con un primer análisis de los perfiles de las líneas de las galaxias con formación estelar (Star Forming) y velocidades de dispersión de [OIII]5007Å mayores que 250 km/s. A continuación, se realizarán sus ajustes y se analizarán los resultados obtenidos. Con los datos obtenidos de los ajustes procederemos a determinar que galaxias son más interesantes para el estudio y se tomará una muestra de control de galaxias AGN para su posterior comparación con la muestra de galaxias Star Forming. Tras este proceso, se obtendrá una muestra de galaxias no activas que presentan  $\sigma$ [OIII] altas como posibles galaxias no activas con vientos fósiles y una segunda muestra de control de galaxias AGN, ambas divididas en tres categorías según tres rangos de  $\sigma$ [OIII] tomados. Se concluirá analizando los espectros de estos tres rangos de  $\sigma$ [OIII] y representando las dos muestras en el diagrama BPT, distinguiendo los tres rangos.

Para llevarlo acabo se ha estructurado el trabajo de la siguiente manera: en una primera sección 1 se comienza planteando los objetivos del proyecto. A continuación, en la sección 2 *Metodología* se desarrollan los pasos seguidos para

llevar a cabo los objetivos así como los datos usados y la muestra seleccionada para el estudio. Después, en la sección 3, se describen los resultados obtenidos y se procede a su discusión. Por último, en la sección 4 *Conclusiones*, se listan las conclusiones así como trabajo futuro para la mejora de los resultados.

## Objetivos

Este proyecto nace del entendimiento de la actividad nuclear de las galaxias como una fase corta ( $<100$  Myr) [Hickox *et al.* 2014], un fenómeno intermitente en el que los agujeros negros supermasivos acumulan material de la galaxia anfitriona y expulsan a su vez fuertes vientos capaces de durar más que el propio AGN.

El principal objetivo de este trabajo es encontrar vientos fósiles en una muestra seleccionada de galaxias no activas del catálogo de SDSS [Ahumada *et al.* 2020] donde el AGN está apagado pero cuyos vientos sigan siendo visibles.

Además de este objetivo principal se tratarán los siguientes objetivos:

- Realización de ajustes de la componente estelar y de los perfiles [OIII] para detectar vientos fósiles en galaxias que ocupan la región de "formación estelar" del diagrama BPT.
- Comparación de los espectros de las candidatas a tener vientos fósiles con galaxias en la zona AGN del diagrama BPT con sigmas estelares iguales.

El resultado de este proyecto pretenderá servir como base para modelos y simulaciones, y avanzar en el estudio del AGN como un fenómeno intermitente.

## Metodología

En esta sección abordaremos la metodología seguida durante el desarrollo del proyecto. Se dividirá en cuatro apartados claves para la obtención de los objetivos descritos en la sección 1.

Comenzará con la descarga de los datos (2.1. *Obtención de datos*) de la muestra de datos del catálogo SDSS [Ahumada *et al.* 2020], para posteriormente generar los espectros de las galaxias y un primer estudio de la distribución de las galaxias de la muestra en el diagrama BPT. A continuación, en el apartado 2.2. *Estudio de espectros y ajustes* se obtendrán los primeros ajustes realizados con pPXF, el estudio de las líneas de emisión y la comparación de los ajustes con los datos del catálogo. La siguiente fase, tratada en el apartado 2.3. *Muestra de control y análisis del comportamiento de los datos*, explicará la muestra de control de galaxias AGN tomada para su posterior comparación con la muestra de galaxias Star Forming y el análisis del comportamiento de los datos, espectros y ajustes más interesantes para el estudio. Por último, en el apartado 2.4. *Estudio de la muestra definitiva y su posición en el diagrama BPT* se detallarán las consideraciones tomadas para obtener una muestra definitiva de 59 galaxias Star Forming con posibles vientos fósiles junto con sus relativas galaxias de control AGN, su división en tres categorías según tres rangos de velocidad tomados y la distribución en el diagrama BPT.

### 2.1. Obtención de datos

Para iniciar el estudio de búsqueda de galaxias no activas que tengan vientos con velocidades inusualmente altas se comienza descargando la muestra de datos del catálogo del SDSS [Ahumada *et al.* 2020].

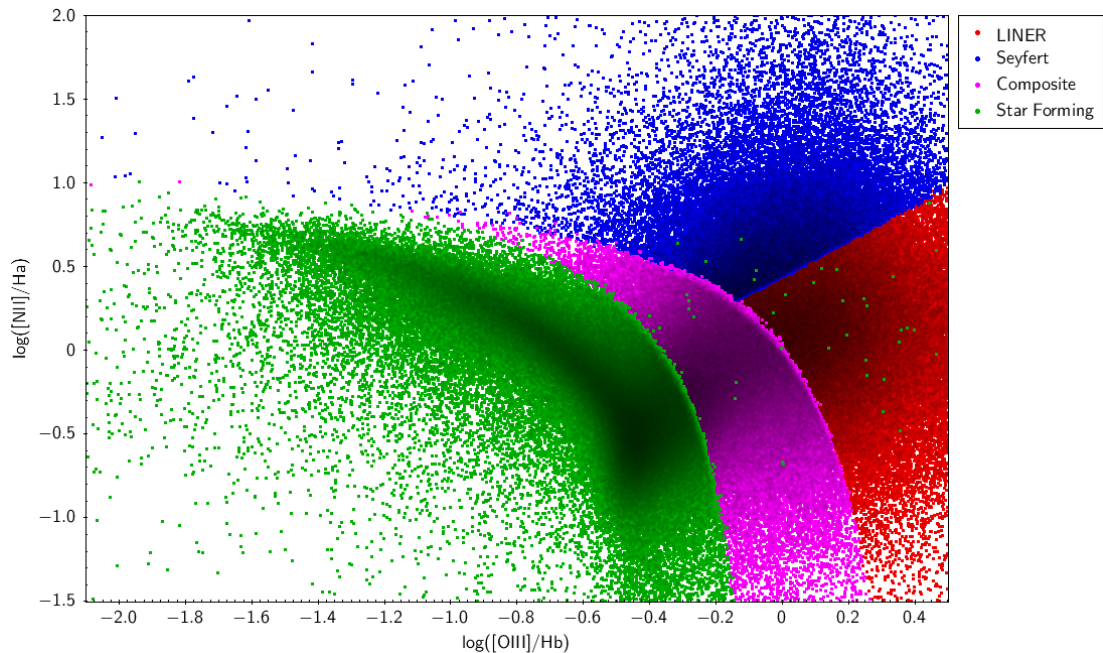
El catálogo proporciona 949978 galaxias de las que, entre otros datos, se indica sus coordenadas, redshift, sigma estelar, clasificación BPT (indicándonos el tipo de galaxia: LINER, Star Forming, Seyfert y galaxias Composite) y sigma, flujo y amplitud sobre el ruido (AoN) de diferentes líneas de emisión.

Los datos se leyeron y trabajaron con TOPCAT [Taylor *et al.* 2022]. El primer paso para estudiar la muestra fue dividirla en cuatro subconjuntos de galaxias según la región BPT, indicada en la tabla de datos, a la que pertenecieran: LINER, Star Forming, Seyfert o Composite. En la tabla 2.1 se muestra el porcentaje de galaxias de cada región. Además, se separaron en nuevas columnas los datos de los gases que nos serían relevantes: los flujos de [OIII]5007Å, [NII]6583Å, H $\alpha$  6563Å y H $\beta$  4861Å, para pintar el diagrama BPT, la sigma del gas [OIII]5007Å su la amplitud sobre el ruido (AoN).

BPT	Número de Galaxias	Porcentaje
Star Forming	402355	42 %
Seyfert	102769	11 %
LINER	161819	17 %
Composite	165852	17 %
Total	949978	100 %

**Tabla 2.1.** Número de galaxias según sean Star Forming, Seyfert, LINER o Composite del catálogo de datos del SDSS [Ahumada *et al.* 2020].

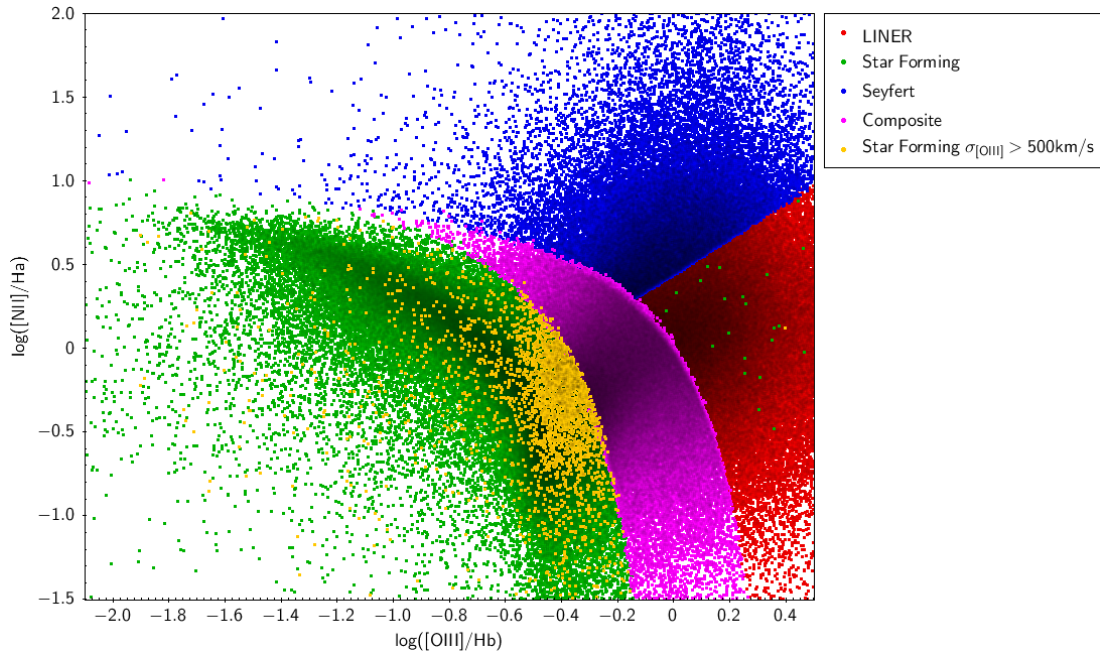
Con esta selección de datos se dibujó el diagrama BPT (figura 2.1) consiguiendo así una primera imagen de la distribución de las galaxias de la muestra de datos del catálogo del SDSS. En la tabla 2.1 podemos ver el número de galaxias que contenía el catálogo según su tipo.



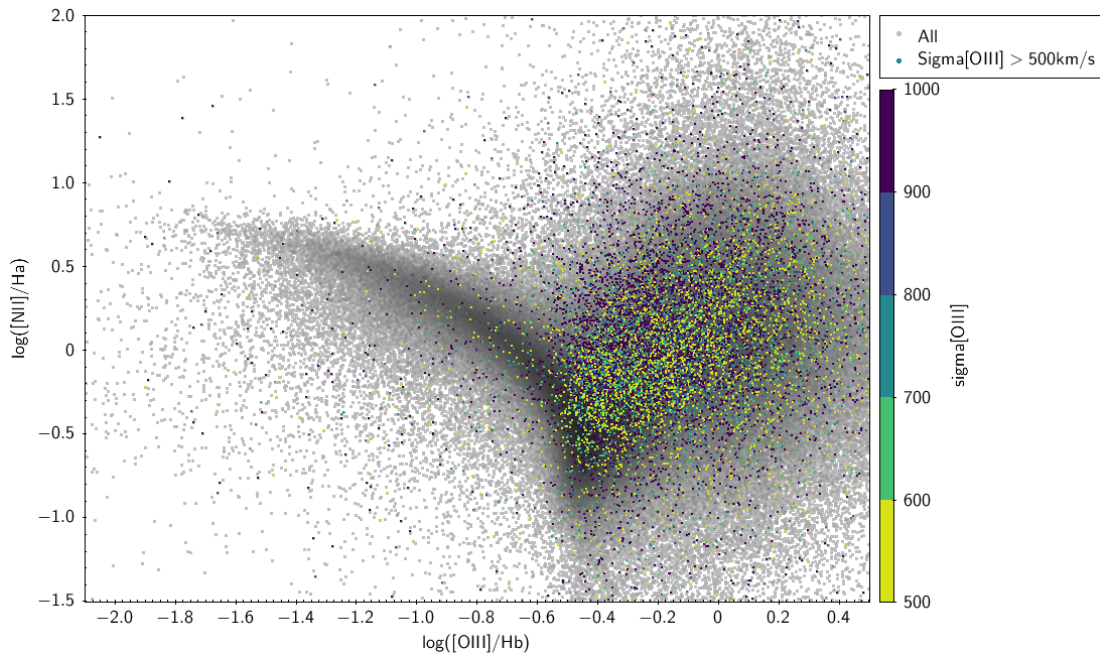
**Figura 2.1.** Diagrama BPT [Baldwin *et al.* 1981] de las galaxias del catálogo de datos del SDSS [Ahumada *et al.* 2020] creados con *TOPCAT* [Taylor *et al.* 2022]. En verde se muestran las galaxias Star Forming, en azul las Seyfert, en rojo las galaxias LINER y en magenta las Composite. Las regiones están divididas según las curvas Kewley [Kewley *et al.* 2001] y Kauffmann [Kauffmann *et al.* 2003].

Con el objetivo de identificar las galaxias Star Forming que potencialmente pudieran tener vientos fósiles se realizó una primera criba de datos seleccionando las galaxias que fueran Star Forming y tuvieran una  $\sigma[OIII]$  mayor que 500 km/s. Posteriormente, usando esta submuestra galaxias Star Forming con  $\sigma[OIII] > 500$  km/s se volvió a pintar el diagrama BPT mostrando esta vez donde se distribuyen estas galaxias según los datos del catálogo (figura 2.2). Además se realizó un diagrama BPT con código de color según el valor de la  $\sigma[OIII]$  (figura 2.3) con el objetivo de mostrar cómo se distribuían las galaxias según sus velocidades en el diagrama BPT, donde se situaban las de mayor velocidad y obtener una primera aproximación, basada en los datos proporcionados por el catálogo, de la distribución de las galaxias de la región Star Forming con velocidades de dispersión mayores que 500 km/s.





**Figura 2.2.** Diagrama BPT [Baldwin *et al.* 1981] de las galaxias del catálogo de datos del SDSS [Ahumada *et al.* 2020] creados con *TOPCAT* [Taylor *et al.* 2022] donde se muestran, en amarillo, las galaxias que cumplen ser Star Forming y tener una  $\sigma[\text{OIII}] > 500\text{km/s}$ . En verde se muestran las galaxias Star Forming, en azul las Seyfert, en rojo las galaxias LINER y en magenta las Composite. Las regiones están divididas según las curvas Kewley [Kewley *et al.* 2001] y Kauffmann [Kauffmann *et al.* 2003].



**Figura 2.3.** Diagrama BPT [Baldwin *et al.* 1981] de las galaxias del catálogo de datos del SDSS [Ahumada *et al.* 2020] creados con *TOPCAT* [Taylor *et al.* 2022] donde se muestra la dispersión de las galaxias según su velocidad.

## 2.2. Estudio de espectros y ajustes

Para conseguir mejores resultados y un estudio más preciso de las líneas de emisión se realizó un ajuste de los espectros de las galaxias. Para ello se trabajó con el paquete pPXF [Cappellari *et al.* 2023] que nos permitió obtener el ajuste del espectro, las líneas de emisión [OIII]5007Å y H $\beta$  64861Å, la sigma del gas [OIII]5007Å y la sigma estelar. Para conseguir un ajuste más exacto se aplicó una máscara que substrajera los residuos del cielo.

En la criba de datos de galaxias con  $\text{sigma}[\text{OIII}] > 500$  km/s se vio que no había galaxias que cumplieran este límite de velocidad de dispersión establecido y que además tuvieran un  $\text{AoN} \geq 4$ . Por este motivo, para la selección de las galaxias que se ajustarían se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:  $\text{sigma}[\text{OIII}] \geq 250$  km/s y  $\text{AoN} \geq 3.0$ . Si bien en un principio se consideró tomar galaxias con  $\text{AoN} \geq 4.0$ , la reducida de muestra obtenida forzó a disminuir el límite a  $\text{AoN} \geq 3.0$  y  $\text{sigma}[\text{OIII}] \geq 250$  km/s. Además se impuso la condición de que la sigma estelar de las galaxias fuera menor que la  $\text{sigma}[\text{OIII}]$ . De esta manera se asegura que la diferencia positiva entre la  $\text{sigma}[\text{OIII}]$  y la sigma estelar sea debido a los vientos. Para estudiar la tendencia de la diferencia entre las sigmas de cada galaxia según su  $\text{sigma}[\text{OIII}]$  se calculó la variación porcentual de sigma (VPS) tomándose la diferencia entre la  $\text{sigma}[\text{OIII}]$  y la sigma estelar de cada galaxia y dividiéndose por  $\text{sigma}[\text{OIII}]$ .

Las condiciones definitivas que se aplicaron para seleccionar la submuestra de galaxias candidatas a tener vientos fósiles fueron:

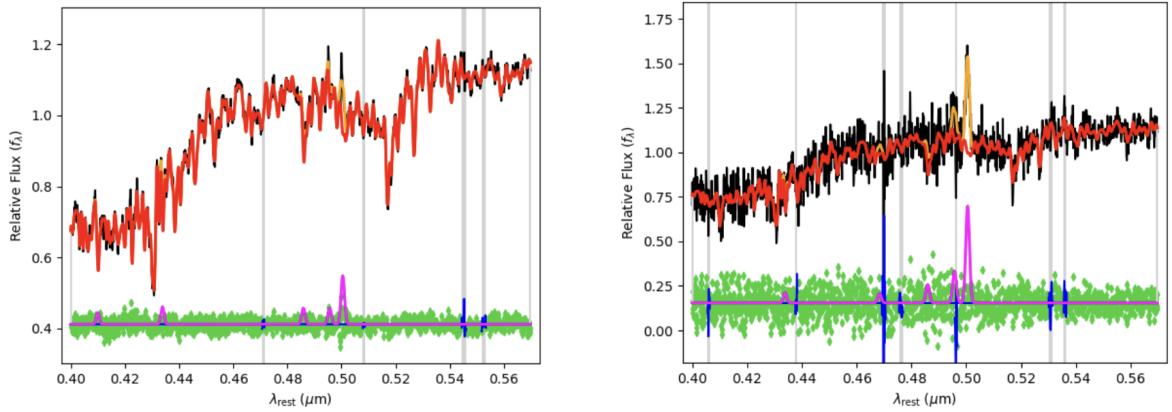
- Zona Star Forming del BPT
- $\text{Sigma}[\text{OIII}]$  (catálogo)  $\geq 250$  km/s
- $\text{AoN} \geq 3.0$
- $\text{sigma}[\text{OIII}] > \text{sigma estelar}$

Con ellas se obtuvo un total de 98 galaxias candidatas a presentar vientos fósiles. Una vez obtenida la submuestra con sus respectivos ajustes se volcaron los datos de interés en una hoja de cálculo. Para el resto del trabajo se tuvieron en cuenta los datos obtenidos de los ajustes reduciéndose la muestra de galaxias candidatas a tener vientos fósiles de 98 a 59.

## 2.3. Selección de muestra de control y análisis de datos

Adicionalmente se seleccionó una muestra de control de galaxias AGN que tuvieran la misma sigma estelar que las galaxias Star Forming candidatas a tener vientos fósiles. Es decir, por cada galaxia Star Forming se buscó una galaxia Seyfert que tuviera una sigma estelar igual. Dado que la diferencia entre los valores obtenidos en el ajuste y los proporcionados por el catálogo del SDSS no era, en su mayoría, muy amplia, para la búsqueda de galaxias Seyfert se partió de una

comparación de la sigma estelar del ajuste de cada galaxia Star Forming con las sigmas estelares de las Seyfert que aparecían en la tabla de datos descargada del catálogo. Primero se tomó una ventana de 20 km/s de diferencia por encima y por debajo del valor de la galaxia Star Forming, se realizaron los ajustes de las galaxias Seyfert hasta dar con una que tuviese una sigma estelar ajustada igual a la de la galaxia Star Forming en cuestión. Para las galaxias Star Forming con una sigma estelar muy baja se tuvo que ampliar el rango de diferencia de sigma estelar con la galaxia Seyfert emparejada ya que no se encontraron otras con una sigma menor (figura 2.4).



**Figura 2.4.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 2651.609 Star Forming con  $\sigma_* = 203$  km/s (izquierda) y de la galaxia 876.332 de control AGN con  $\sigma_* = 203$  km/s (derecha).

Con ambos grupos de datos se procedió a analizar y comparar el comportamiento de ambas muestras y cómo se distribuían las velocidades de dispersión en cada muestra. En la figura 2.5 podemos ver la distribución de galaxias Star Forming según su sigma[OIII] y según su sigma estelar y en la figura 2.6 la de las galaxias Seyfert. Comparando ambos histogramas podemos comprobar como la diferencia entre la sigma[OIII] y la sigma estelar es mayor en las galaxias AGN, probablemente debido al efecto del AGN.

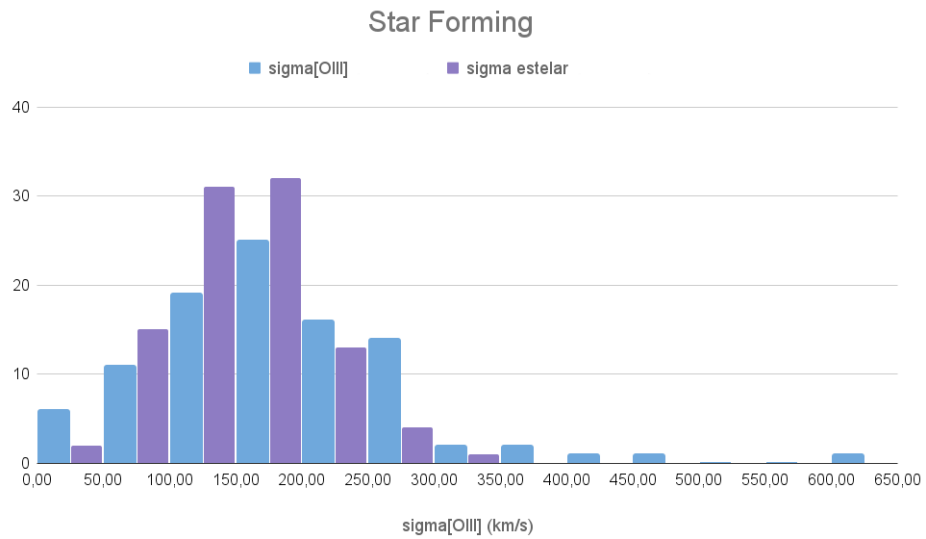


Figura 2.5. Histograma de galaxias Star Forming según su sigma[OIII] y según su sigma estelar.

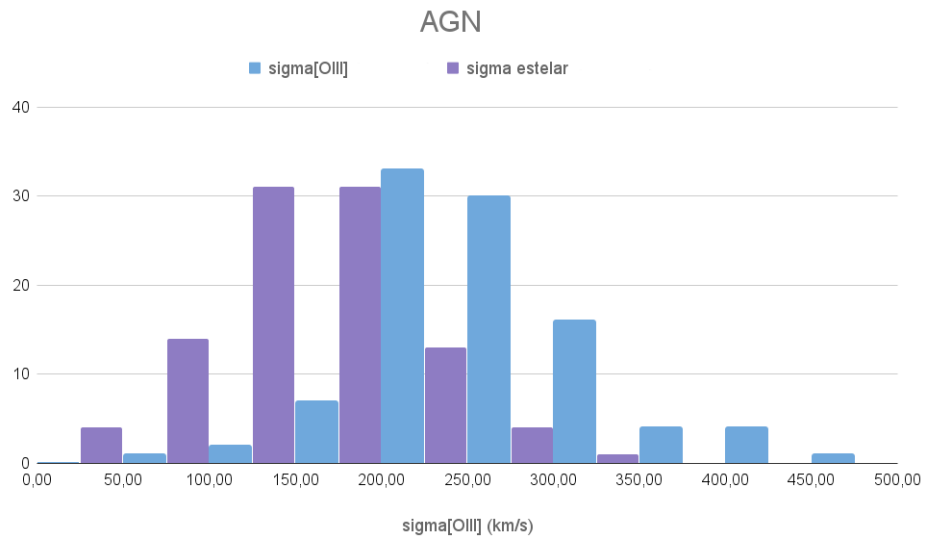


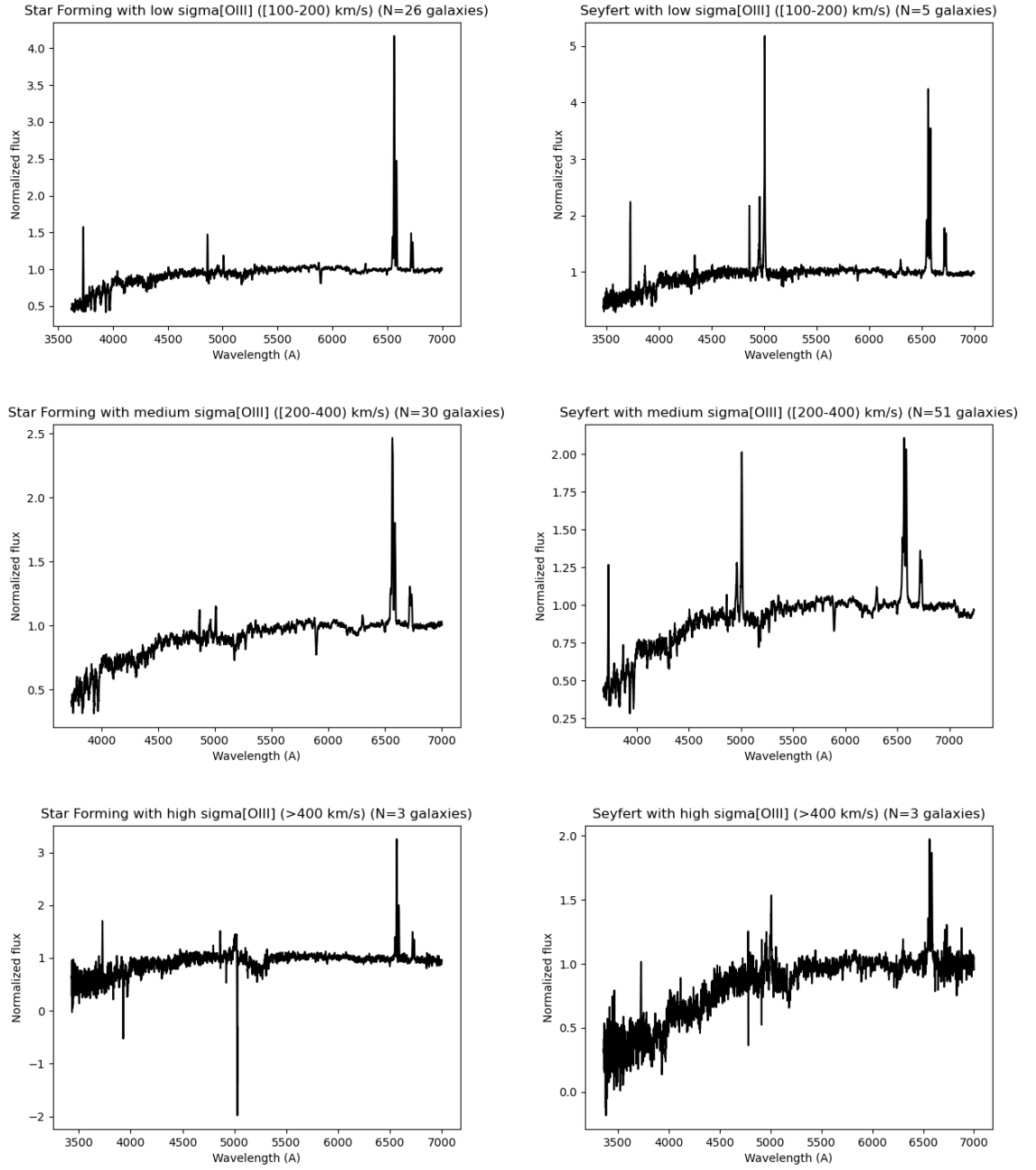
Figura 2.6. Histograma de galaxias Seyfert según su sigma[OIII] y según su sigma estelar.

## 2.4. Estudio de la muestra definitiva y su posición en el diagrama BPT

Para la muestra final se tuvo en cuenta también que la sigma[OIII] dada por el ajuste fuera superior a 100km/s. En la tabla A.1 se pueden ver los datos de la muestra de 59 galaxias Star Forming y su correspondiente muestra de 59 galaxias

AGN que configuraron la muestra final.

Finalmente, se tomaron tres grupos de cada muestra de datos (Star Forming y AGN) según su sigma perteneciera a  $[100, 200)$  km/s (velocidad baja),  $[200, 400)$  km/s (velocidad intermedia) o  $\geq 400$  km/s (velocidad alta). Para realizar los stacks de los diferentes bins se hizo una interpolación entre un vector de longitud de onda común y los vectores de flujos y longitudes de onda de cada espectro. Para ello se usó el modulo `spectres` [Carnall 2017]. A continuación, se normalizó el espectro por su media (figura 2.7).



**Figura 2.7.** Stacks de espectros de las galaxias Star Forming y las galaxias de AGN de control con  $\sigma[\text{OIII}]$  baja ([100, 200] km/s),  $\sigma[\text{OIII}]$  intermedia ([200, 400] km/s) y  $\sigma[\text{OIII}]$  alta ( $\geq 400$  km/s) de la muestra definitiva mostrada la tabla A.1.

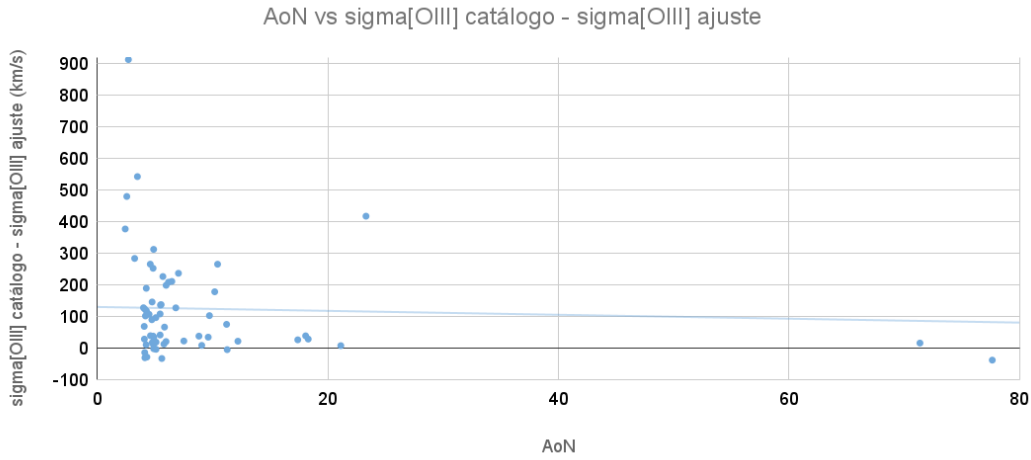
## Descripción y Discusión de los Resultados

En esta sección se describirán los resultados obtenidos y se procederá a su discusión. Se comenzará con el análisis de los ajustes realizados. En concreto, se comentarán los datos obtenidos y se discutirá en mayor profundidad la discrepancia con los datos proporcionados por el catálogo SDSS [Ahumada *et al.* 2020]. También se comentarán los resultados obtenidos al aplicar las condiciones impuestas (lista 2.2) y las galaxias que pasaron dicho corte al imponer también la condición de  $\sigma > 100$  km/s (tabla A.1). Para proseguir, se presentarán los stacks de los espectros de los tres conjuntos de galaxias (sigma[OIII] baja ([100, 200) km/s), sigma[OIII] intermedia ([200, 400) km/s) y sigma[OIII] alta ( $\geq 400$  km/s) de la muestra definitiva de galaxias Star Forming y se compararán con sus respectivos stacks de la muestra de control de galaxias AGN. Por último, se mostrará el diagrama BPT en el que se han representado las galaxias Star Forming de la muestra definitiva y las galaxias Seyfert de la muestra de control indicando la pertenencia al conjunto de velocidades baja, intermedia o alta y se comentará sus distribuciones en el diagrama.

### 3.1. Ajustes

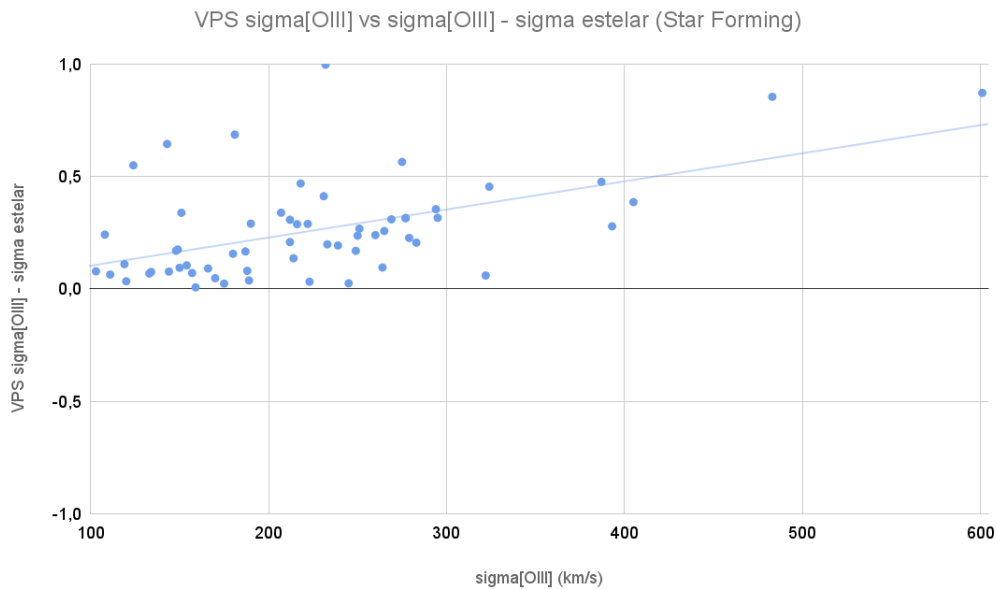
#### 3.1.1. Análisis de los datos del ajuste y comparación con los datos del catálogo SDSS

Lo primero que se observó al realizar el ajuste de los espectros es que había una discrepancia entre los datos proporcionados por el catálogo del SDSS [Ahumada *et al.* 2020] y los obtenidos mediante el ajuste pPXF [Cappellari *et al.* 2023]. En la figura 3.1 se muestra la diferencia entre la velocidad del gas [OIII] medida con el ajuste pPXF y la proporcionada por el catálogo en función de la AoN.



**Figura 3.1.** Diferencia entre la velocidad del gas [OIII] medida con el ajuste pPXF y la proporcionada por el catálogo en función de la AoN.

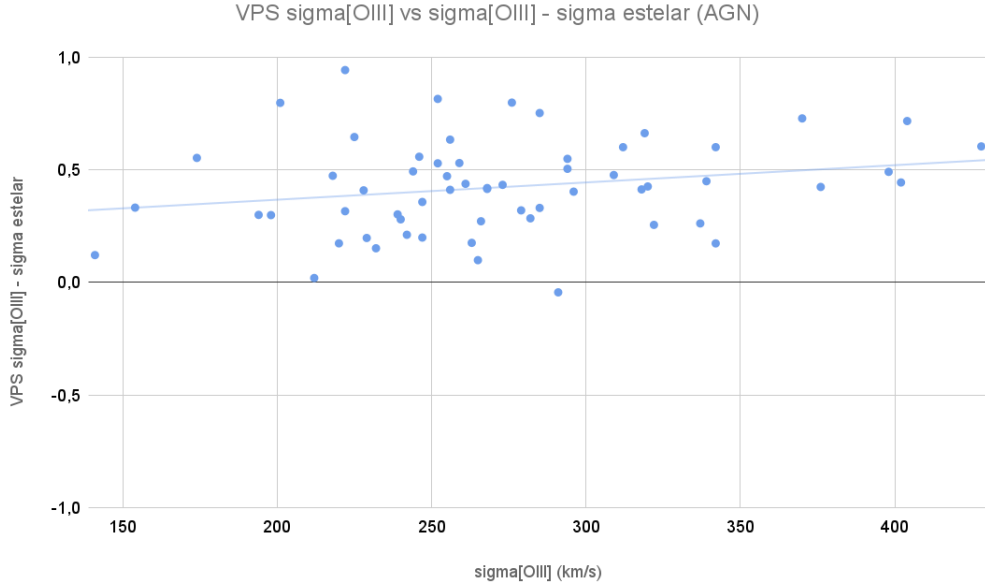
Con los datos ajustados, se compararon la sigma estelar y la sigma[OIII] para detectar sigmas del gas con componente ancha asociadas a vientos. En la figura 3.2 se muestra la variación porcentual de la sigma (VPS) entre la sigma[OIII] y la sigma estelar. La dispersión de las galaxias nos muestra una tendencia en la que la VPS aumenta a medida que aumenta sigma[OIII], destacándose dos galaxias de sigma[OIII] alta con VPS cercanas a 1 (galaxia 884.374 y galaxia 1049.594). Cabe mencionar que la galaxia 1059.219, que presenta una VPS=1, no se ha conseguido ajustar correctamente.



**Figura 3.2.** Variación porcentual de la sigma (VPS) entre la sigma[OIII] y la sigma estelar de la muestra de 59 galaxias Star Forming según los datos obtenidos del ajuste pPXF [Cappellari *et al.* 2023].



Comparando con las galaxias de la muestra de control se puede observar como las AGN tienen una pendiente menor. La mayoría de las galaxias se concentran en un rango de  $\sigma_{[OIII]} \in [200, 350]$  km/s con VPS entorno a 0.5. Además tenemos un número superior de galaxias AGN que tienen  $VPS > 0.5$  que de Star Forming.



**Figura 3.3.** Variación porcentual de la sigma (VPS) entre la  $\sigma_{[OIII]}$  y la sigma estelar de la muestra de control de 59 galaxias AGN según los datos obtenidos del ajuste pPXF [Cappellari *et al.* 2023].

En la tabla A.1 se pueden ver los datos de las galaxias de muestra.

Las componentes estrechas de la línea de emisión del gas presentan una FWHM  $\sim 500$  km/s ([Netzer 1990], [Groves 2007]) de forma que una FWHM mayor se asocia con una componente más ancha que estaría siendo causada por vientos AGN, en este caso de galaxias Star Forming, por vientos fósiles AGN, que dotarían de una asimetría a la línea de emisión. Por este motivo, consideraremos las galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \geq 200$  km/s como candidatas a tener vientos fósiles.

En la tabla 3.1 se pueden ver los casos en los que tenemos una  $\sigma_{[OIII]}$  alta y  $\sigma_{[OIII]}$  intermedia con  $VPS > 0.4$  de galaxias destacadas con  $\sigma_{[OIII]} \geq 200$  km/s cuyos ajustes se exponen en el apéndice.

Nombre	BPT	Categoría	$\sigma_{[OIII]}$ (km/s)	$\sigma_*$ (km/s)	VPS
884.374	Star Forming	sigma alta	601	78	0.870
2101.51	Seyfert	sigma baja	174	78	0.552
1049.594	Star Forming	sigma alta	483	71	0.853
1420.270	Seyfert	sigma intermedia	285	71	0.751
2294.582	Star Forming	sigma alta	405	249	0.385
901.180	Seyfert	sigma intermedia	337	249	0.261
476.370	Star Forming	sigma intermedia	275	120	0.564
1214.528	Seyfert	sigma intermedia	252	119	0.528
2651.609	Star Forming	sigma intermedia	387	203	0.475
876.332	Seyfert	sigma intermedia	398	203	0.490
1377.625	Star Forming	sigma intermedia	324	177	0.454
1577.432	Seyfert	sigma intermedia	296	177	0.402
1186.105	Star Forming	sigma intermedia	231	136	0.411
726.71	Seyfert	sigma intermedia	228	135	0.408
691.218	Star Forming	sigma intermedia	218	116	0.468
1163.169	Seyfert	sigma alta	404	115	0.715

**Tabla 3.1.** Galaxias Star Forming con sigma[OIII] alta y sigma[OIII] intermedia con VPS >0.4 y sus correspondientes galaxias de control AGN. Se pueden encontrar los ajustes de estas en el apéndice A.2.

En el apéndice A.2 se adjuntan otros ajustes realizados correspondientes a galaxias Star Forming (y su correspondiente galaxia AGN de control) con sigmas alta ( $\geq 400$  km/s), sigma intermedia ( $[200, 400)$  km/s) y baja ( $[100, 200)$  km/s). En ellos también se aprecia la prominencia de la línea de emisión [OIII]5007Å.

### 3.2. Stacks de muestras definitivas Star Forming y AGN

En esta sección discutiremos los resultados de los stacks de las muestras definitivas Star Forming y sus correspondiente muestra de control de galaxias AGN.

Tras realizarse los tres subconjuntos de galaxias según los tres bins de sigma[OIII] se obtiene para las galaxias Star Forming:

- **sigma[OIII] baja.** 26 galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \in [100, 200)$  km/s
- **sigma[OIII] intermedia.** 30 galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \in [200, 400)$  km/s
- **sigma[OIII] alta.** 3 galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \geq 400$  km/s

Y para las galaxias de control AGN:

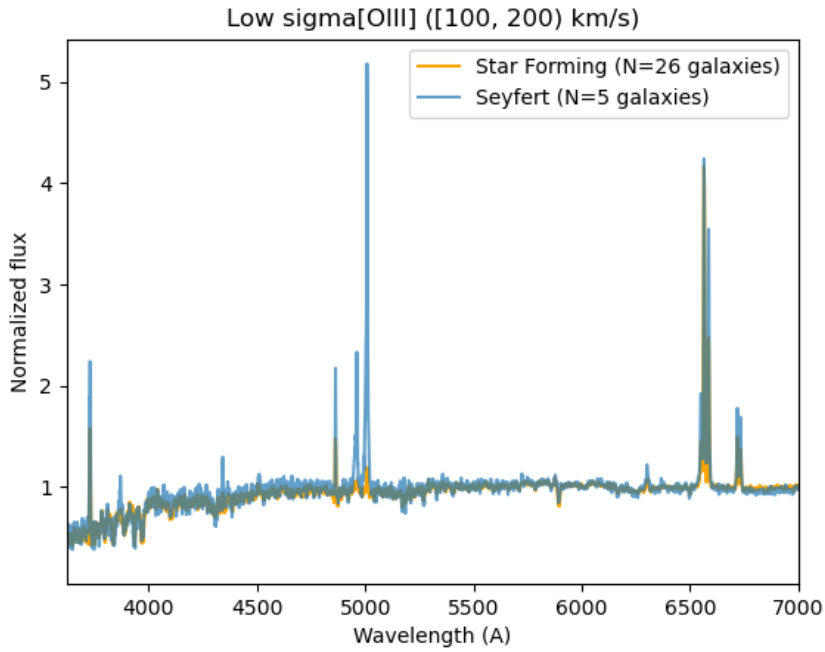
- **sigma[OIII] baja.** 5 galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \in [100, 200)$  km/s
- **sigma[OIII] intermedia.** 50 galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \in [200, 400)$  km/s
- **sigma[OIII] alta.** 3 galaxias con  $\sigma_{[OIII]} \geq 400$  km/s

Comparando el número de galaxias de cada conjunto según sean Star Forming o AGN se puede ver como, aunque las galaxias AGN fueran escogidas teniendo una sigma estelar igual a la sigma estelar de las galaxias Star Forming, el número de galaxias AGN con sigma[OIII] intermedias es muy superior al de

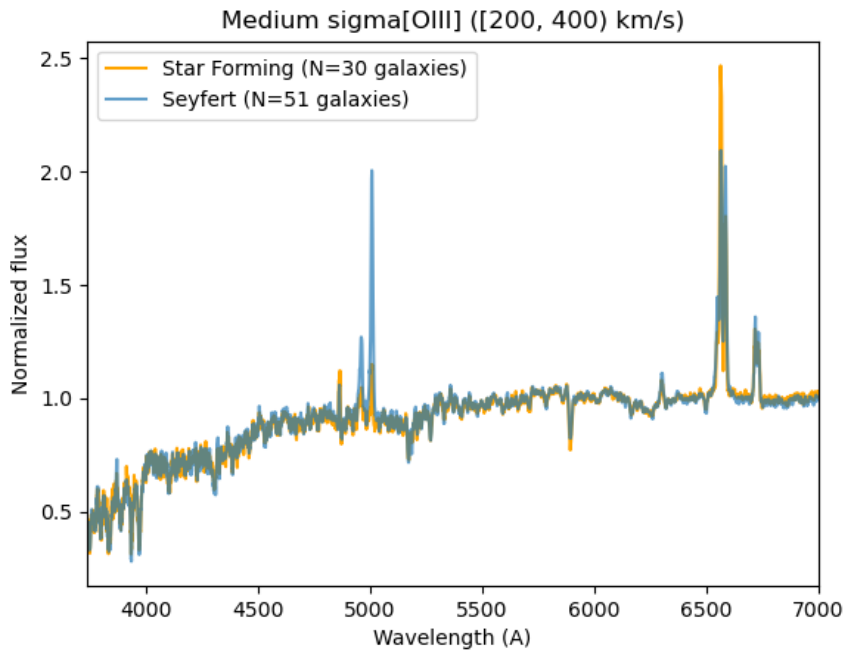
galaxias Star Forming. Este resultado concuerda con la presencia de vientos en galaxias AGN que generan una mayor velocidad de dispersión y por tanto una componente ancha a la línea de emisión [OIII] dando lugar a una asimetría (ver figura 0.2). Esto también se ve representado en la distribución de galaxias en los diagramas de dispersión de la VPS (figura 3.2 para las galaxias star Forming y figura 3.3 para las galaxias AGN).

Además, la muestra de galaxias tomada para este estudio tiene  $z \in [0.02, 0.40]$  por lo que el bajo número de galaxias Star Forming candidatas a tener vientos fósiles (con  $\text{sigma}[\text{OIII}] \geq 200$  km/s) obtenido concuerda con el estudio de [Zubovas *et al.* 2023] en el que deduce que los vientos fósiles pueden estar presentes en todas las galaxias a un  $z \sim 2$ . Esta deducción se basa en que el ciclo del AGN es mayor a mayor redshift [Delvecchio *et al.* 2020].

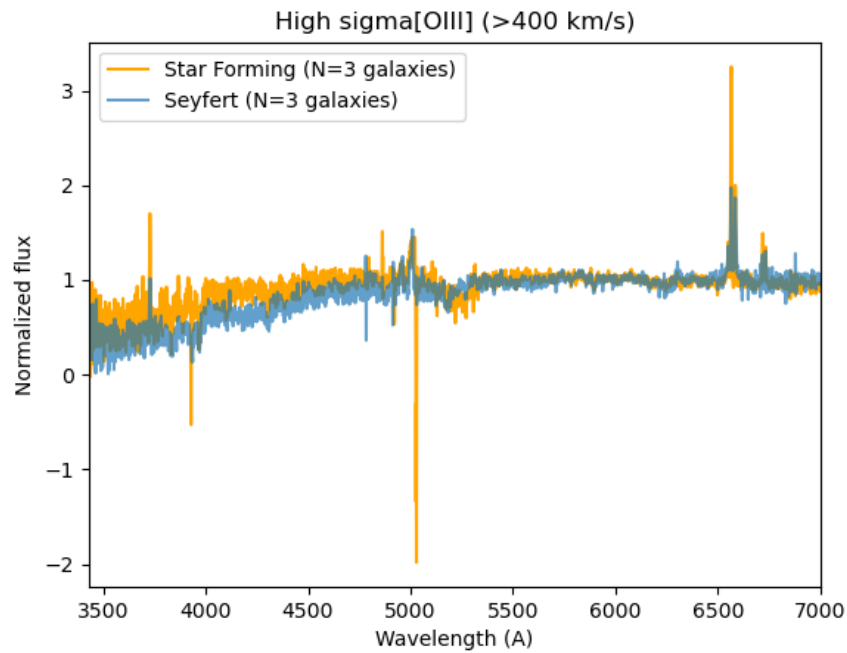
En la figura 3.4, 3.5 y 3.6 podemos ver una comparación de los stacks de cada muestra de galaxias, Star Forming y AGN, según tengan  $\text{sigma}[\text{OIII}]$  baja, intermedia o alta respectivamente. Se puede ver como [OIII]5007Å presenta una prominente línea de emisión en todos los stacks, siendo más intensa en las galaxias Seyfert que en las galaxias Star Forming aunque igualmente importante en estas últimas. Aunque la cantidad de ruido no nos permite distinguir claramente la asimetría en [OIII]5007Å si podemos apreciar como en los conjuntos de  $\text{sigma}$  baja e intermedia la línea de emisión de [OIII]5007Å es más ancha en las galaxias AGN que en las galaxias Star Forming, mientras que en el stack de las galaxias con  $\text{sigma}$  alta la línea de emisión de [OIII]5007Å es ligeramente más ancha en el stack de las galaxias Star Forming que en el de las galaxias AGN, lo que concuerda con los datos ya que las tres galaxias Star Forming con  $\text{sigma}$  alta tienen una  $\text{sigma}[\text{OIII}]$  mayor que las galaxias AGN con  $\text{sigma}$  alta.



**Figura 3.4.** Comparación de los stacks de espectros de las galaxias Star Forming (en naranja) y las galaxias de AGN de control (en azul) con  $\sigma[\text{OIII}]$  baja ([100, 200) km/s) de la muestra definitiva mostrada la tabla A.1.



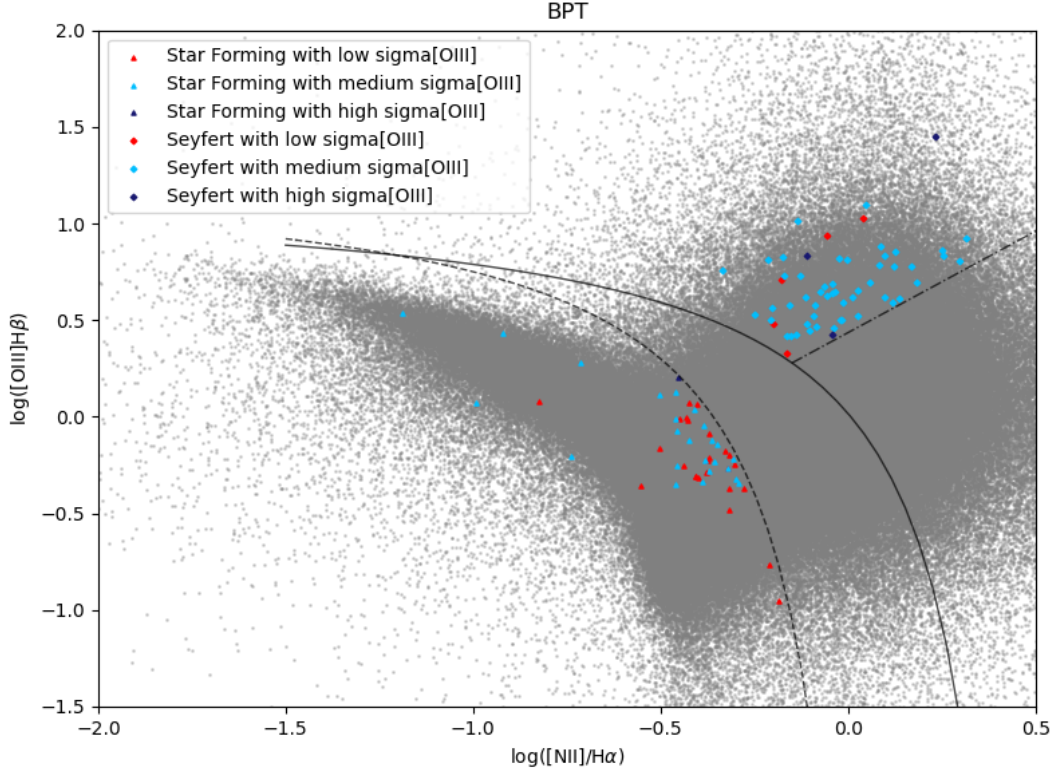
**Figura 3.5.** Comparación de los stacks de espectros de las galaxias Star Forming (en naranja) y las galaxias de AGN de control (en azul) con  $\sigma[\text{OIII}]$  intermedia ([200, 400) km/s) de la muestra definitiva mostrada la tabla A.1.



**Figura 3.6.** Comparación de los stacks de espectros de las galaxias Star Forming (en naranja) y las galaxias de AGN de control (en azul) con  $\sigma[\text{OIII}]$  alta ( $\geq 400$  km/s) de la muestra definitiva mostrada la tabla A.1.

### 3.3. BPT

Por último, se presenta el diagrama BPT en el que se han representado todas las galaxias del catálogo de datos SDSS [Ahumada *et al.* 2020] (en gris) destacando las 59 galaxias Star Forming de la muestra final y las 59 galaxias AGN correspondientes. Podemos distinguir en rojo las galaxias con una  $\sigma[\text{OIII}]$  baja, en azul celeste las galaxias con una  $\sigma[\text{OIII}]$  intermedia y azul oscuro aquellas con una  $\sigma[\text{OIII}]$  alta.



**Figura 3.7.** Diagrama BPT final. Se representan las galaxias de las muestras Star Forming y la muestra de control AGN según tengan  $\sigma_{[OIII]}$  baja, intermedia o alta.

Se destaca de este diagrama como las Star Forming seleccionadas en la muestra final (tabla A.1) se concentran en su mayoría cerca del límite de la zona Star Forming del diagrama BPT, incluso aquellas con una  $\sigma_{[OIII]}$  baja.

Comparando con los dos primeros diagramas BPT en los que se mostraban las galaxias Star Forming con  $\sigma_{[OIII]} > 500$  km/s según los datos del catálogo (figura 2.2) y la dispersión de velocidades de las galaxias sobre el diagrama BPT (figura 2.3) podemos ver como las galaxias de nuestra selección coinciden con la primera imagen de la distribución de velocidades.

Cabe destacar que la razón por la que solo aparece representada una galaxia Star Forming con  $\sigma_{[OIII]}$  alta (y en general menos galaxias que en la muestra final) es por que cae fuera de los rangos del diagrama BPT. Estas galaxias son la galaxia 1049.594 con  $\sigma_{[OIII]} = 483$  cuyos logaritmos son  $\log([NII]/H\alpha) = -0.16$  y  $\log([OIII]/H\beta) = \infty$  y la galaxia 2294.582 con  $\sigma_{[OIII]} = 405$  cuyos logaritmos son  $\log([NII]/H\alpha) = -2.52$  y  $\log([OIII]/H\beta) = 0.96$ .

## Conclusiones

### 4.1. Conclusiones

A lo largo de este proyecto se ha adoptado un enfoque complementario en el estudio la actividad nuclear como un fenómeno intermitente buscando vientos de AGN fósiles en galaxias no activas.

Para ello se ha partido de una muestra seleccionada del catálogo SDSS [Ahumada *et al.* 2020] de galaxias que estén formando estrellas (Star Forming). Tras encontrar estos primeros candidatos a galaxias con vientos de AGN fósiles se realizaron los ajustes pPXF de las componentes estelar y del gas. Además se llevó acabo un análisis de los resultados obtenidos a partir del ajuste que permitió seleccionar una muestra de 59 galaxias con posibilidad de albergar vientos fósiles. Usando los datos del ajuste estelar se seleccionó una muestra de control de galaxias AGN que sirvió para comparar los ajustes y espectros de las candidatas a tener vientos fósiles con galaxias en la zona AGN del diagrama BPT. En esta comparación se vio que ambas muestras compartían prominentes líneas de emisión de [OIII]5007Å.

De esta manera, se concluye una muestra de 33 galaxias de la región Star Forming candidatas a tener vientos fósiles, siendo estas las que tienen velocidades de dispersión mayores que 200 km/s.

Por último, se representaron las muestras de galaxias según tres conjuntos de velocidades de dispersión sobre el diagrama BPT observándose que incluso las galaxias que se catalogaron como velocidad baja ( $\sigma_{[OIII]} \in [100, 200)$  km/s) se encontraban en el límite de la región Star Forming del diagrama BPT, lo cual podría ser indicativo de una migración progresiva de los objetos desde la zona AGN del BPT a la Star Forming a medida que el AGN se apaga.

## 4.2. Trabajo Futuro

Para profundizar más en la caracterización de los vientos fósiles en galaxias con formación estelar se propone:

- Analizar con más detalle los perfiles de las líneas de [OIII] de las 33 candidatas a vientos fósiles ajustando sus gaussianas con el objetivo de detectar asimetrías, y medir las propiedades de los vientos.
- Realizar un ajuste de un mayor número de galaxias reduciendo el primer límite impuesto de  $\sigma_{\text{[OIII]}} \geq 250 \text{ km}$  que permita ampliar la muestra a ajustar y tener mayor número de candidatas a poseer vientos fósiles.



---

## Bibliografía

- [Ahumada *et al.* 2020] AHUMADA, R. *et al.* *The 16th Data Release of the Sloan Digital Sky Surveys: First Release from the APOGEE-2 Southern Survey and Full Release of eBOSS Spectra*. *ApJS*. 2020; Volume (249): 3  
arXiv:[1912.02905](https://arxiv.org/abs/1912.02905)
- [Baldwin *et al.* 1981] BALDWIN, J. A., PHILLIPS, M. M., TERLEVICH, R. *Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 1981; Volume (93): 5-19  
doi:[10.1086/130766](https://doi.org/10.1086/130766)
- [Barth *et al.* 2003] BARTH, A. J., MARTINI, P., NELSON, C. H., HO, L. C. *Iron Emission in the  $z=6.4$  Quasar SDSS J114816.64+525150.3*. *The Astrophysical Journal*. 2011; Volume (594): L95-L98  
doi:[10.1086/383302](https://doi.org/10.1086/383302)
- [Barth *et al.* 2004] BARTH, A. J., HO, L. C., RUTLEDGE, R. E., SARGENT, W. L. W. *POX 52: A Dwarf Seyfert 1 Galaxy with an Intermediate-Mass Black Hole*. *The Astrophysical Journal*. 2011; Volume (607):90-102  
doi:[10.1086/383302](https://doi.org/10.1086/383302)
- [Bower *et al.* 2006] BOWER, R. G., BENSON, A. J., MALBOL, R., HELLY, J. C., FRENK, C. S., BAUGH, C. M., COLE, S., LACEY, C. G. *Breaking the hierarchy of galaxy formation*. *MNRAS*. 2006; volumen (370): 645-655.  
doi:[10.1111/j.1365-2966.2006.10519.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2006.10519.x)
- [Cappellari *et al.* 2023] CAPPELLARI, M. *Full spectrum fitting with photometry in PPXF: stellar population versus dynamical masses, non-parametric star formation history and metallicity for 3200 LEGA-C galaxies at redshift  $z \approx 0.8$* . *MNRAS*. 2023; volumen (526): 3273-3300.  
arXiv:[2208.14974v2](https://arxiv.org/abs/2208.14974v2)
- [Carnall 2017] CARNALL, A. C. *SpectRes: A Fast Spectral Resampling Tool in Python*. *astro-ph.IM*. 2017.  
arXiv:[1705.05165](https://arxiv.org/abs/1705.05165)
- [Cicone *et al.* 2014] CICONE, C., MAIOLINO, R., STURM, E., GRACIÁ-CARPIO, J., FERUGLIO, C., NERI, R., AALTO, S. *Massive molecular outflows and evidence for AGN feedback from CO observations*. *Astronomy and Astrophysics*. 2014; Volume (562): A21

- doi:[10.1051/0004-6361/201322464](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322464)
- [Croton *et al.* 2006] CROTON, D. J., SPRINGEL V., WHITE, S. D. M., DE LUCIA, G., FRENK, C. S., GAO, L., JENKINS, A. *The many lives of active galactic nuclei: cooling flows, black holes and the luminosities and colours of galaxies*. MNRAS. 2006; volumen (365): 11-28  
doi:[10.1111/j.1365-2966.2005.09675.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09675.x)
- [Delvecchio *et al.* 2020] DELVECCHIO, I., DADDI, E., AIRD, J., MULLANEY, J. R., BERNHARD, E., GRIMMETT, L. P., CARRARO, R., CIMATTI, A., ZAMORANI, G., CAPLAR, N., VITO, F., ELBAZ, D., RODIGHIERO, G. *The Evolving AGN Duty Cycle in Galaxies Since  $z \approx 3$  as Encoded in the X-Ray Luminosity Function*. The Astrophysical Journal. 2020; Volume (892):17  
doi:[10.3847/1538-4357/ab789c](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab789c)
- [Dubois *et al.* 2014] DUBOIS, Y. *The many lives of active galactic nuclei: cooling flows, black holes and the luminosities and colours of galaxies*. MNRAS. 2014; volumen (444): 1453–1468  
doi:[10.1093/mnras/stu1227](https://doi.org/10.1093/mnras/stu1227)
- [Feruglio *et al.* 2010] FERUGLIO, C., MAIOLINO, R., PICONCELLI, E., MENCI, N., AUSSEL, H., LAMASTRA, A., FIORE, F. *Quasar feedback revealed by giant molecular outflows*. Astronomy and Astrophysics. 2010; Volume (518): L155+  
doi:[10.1051/0004-6361/201015164](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015164)
- [Fiore *et al.* 2017] FIORE, F., FERUGLIO C, SHANKAR, F., BISCHETTI, M., BONGIORNO, A., BRUSA, M., CARNIANI, S., CICONE, C., DURAS, F., LAMASTRA, A., MAINIERI, V., MARCONI, A., MENCI, N., MAIOLINO, R., PICONCELLI, E., VIETRO, G., ZAPPACOSTA, L. *AGN wind scaling relations and the co-evolution of black holes and galaxies*. Astronomy and Astrophysics. 2017; Volume (601): A1143  
doi:[10.1051/0004-6361/201629478](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201629478)
- [Fluetsch *et al.* 2019] FLUETSCH, A., MAIOLINO, R., CARNIANI, S., MARCONI, A., CICONE, C., BOURNE, M. A., COSTA, T., FABIAN, A. C., ISHIBASHI, W., VENTURI, G. *Cold molecular outflows in the local Universe and their feedback effect on galaxies*. MNRAS. 2019; volumen (483): 4586.  
doi:[10.1093/mnras/sty3449](https://doi.org/10.1093/mnras/sty3449)
- [Graham *et al.* 2015] GRAHAM, A. W., SCOTT, N. *The (Black Hole)-bulge Mass Scaling Relation at Low Masses*. The Astrophysical Journal. 2015; volumen (798): 54.  
arXiv:[1412.3091](https://arxiv.org/abs/1412.3091)
- [Groves 2007] GROVES, B. 2007, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. The Central Engine of Active Galactic Nuclei. volumen (373) ed. L. C. Ho J. W. Wang, 511
- [Harrison y Ramos Almeida 2024] HARRISON, C. M., RAMOS ALMEIDA, C. *Observational Tests of Active Galactic Nuclei Feedback: An Overview of Approaches and Interpretation*. Galaxies. 2024; Volume (12): id.17

arXiv:[2404.08050](https://arxiv.org/abs/2404.08050)

- [Hervella *et al.* 2023] HERVELLA SEOANE, K., RAMOS ALMEIDA, C., ACOSTA-PULIDO, J. A., SPERANZA, G., TADHUNTER, C. N., BESIÈRE, P. S. *Investigating the impact of quasar-driven outflows on galaxies at  $z \approx 0.3-0.4$* . Astronomy and Astrophysics. 2023; Volume (680): A71  
doi:[10.1051/0004-6361/202347756](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347756)
- [Hickox *et al.* 2014] HICKOX, R. C., MULLANEY, J. R., ALEXANDER, D. M., CHEN, C. J., CIVANO, F. M., GOULDING, A. D., HAINLINE, K. N. *Black Hole Variability and the Star Formation-Active Galactic Nucleus Connection: Do All Star-forming Galaxies Host an Active Galactic Nucleus?*. The Astrophysical Journal. 2014; Volume (782): 9.  
doi:[10.1088/0004-637X/782/1/9](https://doi.org/10.1088/0004-637X/782/1/9)
- [Kauffmann *et al.* 2003] KAUFFMANN, G., HECKSMAN, T. M., TREMONTI, C., BRINCHMANN, J., CHARLOT, S., WHITE, S. D. M., RIDGWAY, S. E., BRINKMANN, J., FUKUGITA, M., HALL, P. B., IVEZIĆ, Z., RICHARDS, G. T., SCHNEIDER, D. P. *The host galaxies of active galactic nuclei*. MNRAS. 2003; volumen (346): 1055-1077  
arXiv:[astro-ph/0304239](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0304239)
- [Kewley *et al.* 2001] KEWLEY, L. J., DOPITA, M. A., SUTHERLAND, R. S., HEISLER, C. A., TREVENA, J. *Theoretical Modeling of Starburst Galaxies*. The Astrophysical Journal. 2001; Volume (556): 121-140  
doi:[10.1086/321545](https://doi.org/10.1086/321545)
- [King *et al.* 2011] KING, A. R., ZUBOVAS, K., POWER, C. *Large-scale outflows in galaxies*. MNRAS. 2011; volumen (415): L6-L10  
doi:[10.1111/j.1745-3933.2011.01067.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2011.01067.x)
- [Lintott *et al.* 2009] LINTOTT, C.J., SCHAWINSKI, K., KEEL, W., VAN ARKEL, H., BENNERT, N., EDMONDSON, E., THOMAS, D., SMITH, D.J.B., HERBERT, P.D., JARVIS, M.J. *et al.* *Galaxy Zoo: ‘Hanny’s Voorwerp’, a quasar light echo?*. MNRAS. 2009; volumen (399): 129–140  
arXiv:[astro-ph.CO/0906.5304](https://arxiv.org/abs/astro-ph.CO/0906.5304)
- [Lutz *et al.* 2020] LUTZ, D., STURM, E., JANSSEN, A., VEILLEUX, S., AALTO, S., CICONE, C., CONTURSI, A. *Molecular outflows in local galaxies: Method comparison and a role of intermittent AGN driving*. Astronomy and Astrophysics. 2020; Volume (633): A134  
doi:[10.1051/0004-6361/201936803](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936803)
- [McCarthy *et al.* 2017] MCMARTHY, I. G., SCHAYE, J., BIRD, S., LE BRUN, A. M. C. *The BAHAMAS project: calibrated hydrodynamical simulations for large-scale structure cosmology*. MNRAS. 2017; volumen (465): 2936–2965  
arXiv:[1603.02702](https://arxiv.org/abs/1603.02702)
- [Montgomery *et al.* 2009] MONTGOMERY, C., ORCHISTON, W., WHITTINGHAM, I. *Michell, Laplace and the origin of the black hole concept*. Journal of Astronomical History and Heritage. 2017; volumen (2): 90–96  
doi:[10.3724/SP.J.1440-2807.2009.02.01](https://doi.org/10.3724/SP.J.1440-2807.2009.02.01)
- [Mostert *et al.* 2023] MOSTERT, R.I.J., MORGANTI, R., BRIENZA, M., DUNCAN, K.J., OEI, M.S.S.L., RÖTTGERING, H.J.A., ALEGRE, L., HARD-

- CASTLE, M.J., JURLIN, N. *Finding AGN remnant candidates based on radio morphology with machine learning*. *Astronomy and Astrophysics*. 2023; volumen (674): A208  
arXiv:[astro-ph.GA/2304.05813](https://arxiv.org/abs/astro-ph.GA/2304.05813)
- [Netzer 1990] NETZER, H., 1990. *Active Galactic Nuclei* (Springer) 57-158
- [Oh *et al.* 2024] OH, S., COLLESS, M., BARSANTI, S., ZOVARO, H. R. M., CROOM, S. M., YI, S. K., RISTEA, A., VAN DE SANDE, J., D'EUGENIO, F., BLAND-HAWTHORN, J., BRYANT, J. J., CASURA, S., JEONG, H., SEET, S. M., ZAFAR, T. *The SAMI Galaxy Survey: impact of star formation and AGN feedback processes on the ionized gas velocity dispersion*. *MNRAS*. 2024; volumen (000): 1-15.  
arXiv:[2405.20627](https://arxiv.org/abs/2405.20627)
- [Peterson *et al.* 2001] PETERSON, B. M. *Variability of Active Galactic Nuclei*. *Advanced Lectures on the Starburst-AGN Connection*. 2001; p. 3  
arXiv:[astro-ph/astro-ph/0109495](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0109495)
- [Puchwein y Springel *et al.* 2013] PUCHWEIN, E., SPRINGEL, V. *Shaping the galaxy stellar mass function with supernova- and AGN-driven winds*. *MNRAS*. 2007; volumen (428): 2966-2979  
doi:[10.1093/mnras/sts243](https://doi.org/10.1093/mnras/sts243)
- [Schaye *et al.* 2015] SCHAYE, J., CRAIN, R. A., BOWER, R. G., FURLONG M., SHCALLER, M., THEUNS, T., DALLA VECCHIA, C. *The EAGLE project: simulating the evolution and assembly of galaxies and their environments*. *MNRAS*. 2015; volumen (446): 521-554  
doi:[10.1093/mnras/stu2058](https://doi.org/10.1093/mnras/stu2058)
- [Sijacki *et al.* 2007] SIJACKI, D., SPRINGEL V., DI MATTEO, T., HERNQUIST, L. *A unified model for AGN feedback in cosmological simulations of structure formation*. *MNRAS*. 2007; volumen (380): 877-900  
doi:[10.1111/j.1365-2966.2007.12153.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.12153.x)
- [Sturm *et al.* 2011] STURM, E., GONZÁLEZ-ALFONSO, E., VEILLEUX, S., FISCHER, J., GRACIÁ-CARPIO, J., HAILEY-DUNSHEATH, S., CONTURSI, A. *Massive Molecular Outflows and Negative Feedback in ULIRGs Observed by Herschel-PACS*. *The Astrophysical Journal*. 2011; Volume (733): L16+  
doi:[10.1088/2041-8205/733/1/L16](https://doi.org/10.1088/2041-8205/733/1/L16)
- [Rupke y Veilleux *et al.* 2011] RUPKE, D. S. N., VEILLEUX, S. *Integral field spectroscopy of massive, kiloparsec-scale outflows in the infrared-luminous QSO Mrk 231*. *The Astrophysical Journal*. 2011; Volume (729): L27  
doi:[10.1088/2041-8205/729/2/L27](https://doi.org/10.1088/2041-8205/729/2/L27)
- [Rupke *et al.* 2017] RUPKE, D. S. N., GÜLTEKIN, K., VEILLEUX, S. *Quasar-mode Feedback in Nearby Type 1 Quasars: Ubiquitous Kiloparsec-scale Outflows and Correlations with Black Hole Properties*. *The Astrophysical Journal*. 2017; Volume (850): 40  
doi:[10.3847/1538-4357/aa94d1](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa94d1)
- [Taylor *et al.* 2022] TAYLOR, M. *TOPCAT*. 2022. Disponible en : [www.starlink.ac.uk/topcat/](http://www.starlink.ac.uk/topcat/)

- [The Event Horizon Telescope Collaboration *et al.* 2019] The Event Horizon Telescope Collaboration *First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole*. The Astrophysical Journal Letters. 2019; volumen (875): L4  
doi:[10.3847/2041-8213/ab0e85](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab0e85)
- [Tremmel *et al.* 2019] TREMMEL, M. *Introducing ROMULUSC: a cosmological simulation of a galaxy cluster with an unprecedented resolution*. MNRAS. 2019; volumen (483): 3336–3362  
doi:[10.1093/mnras/sty3336](https://doi.org/10.1093/mnras/sty3336)
- [Vogelsberger *et al.* 2014] VOGELSBERGER, M. *Introducing the Illustris Project: simulating the coevolution of dark and visible matter in the Universe*. MNRAS. 2014; volumen (444): 1518–1547  
doi:[10.1093/mnras/stu1536](https://doi.org/10.1093/mnras/stu1536)
- [Zubovas y Nardini *et al.* 2020] ZUBOVAS, K., NARDINI, E. *Intermittent AGN episodes drive outflows with a large spread of observable loading factors*. MNRAS. 2011; volumen (498): 3633–3647  
doi:[10.1093/mnras/staa2652](https://doi.org/10.1093/mnras/staa2652)
- [Zubovas *et al.* 2022] ZUBOVAS, K., BIALOPETRAVIČIUS, J., KAZLAUSKAITĖ, M. *Determining active galactic nucleus luminosity histories using present-day outflow properties: a neural network-based approach*. MNRAS. 2022; volumen (515): 1705–1722  
doi:[10.1093/mnras/stu1536](https://doi.org/10.1093/mnras/stu1536)
- [Zubovas *et al.* 2023] ZUBOVAS, K., MASKELIUNAS, G. *Life after AGN switch off: evolution and properties of fossil galactic outflows*. MNRAS. 2023; volumen (524): 4819–4840  
arXiv:[2306.00518](https://arxiv.org/abs/2306.00518)

# A

---

## Anexo

### A.1. Tabla de datos

Tabla de datos de la muestra final tomada de galaxias Star Forming y de la muestra de control de galaxias AGN:

PLATE	FIBERID	BPT	AON	$\sigma_{[OIII]}, catal.$ (km/s)	$\sigma_{[OIII]}, aj.$ (km/s)	$\sigma_*, catal.$ (km/s)	$\sigma_*, aj.$ (km/s)	VPS
475	573	Star Forming	3,040	287,81	103	113,90	95	0,078
2955	357	Star Forming	3,207	259,63	108	80,12	82	0,241
1538	573	Star Forming	6,186	319,07	111	100,37	104	0,063
492	207	Star Forming	3,236	267,73	119	132,60	106	0,109
990	505	Star Forming	3,038	254,97	120	131,05	116	0,033
302	534	Star Forming	3,169	333,40	124	107,43	56	0,548
394	532	Star Forming	3,612	265,30	133	118,34	124	0,068
2154	107	Star Forming	4,277	255,47	134	128,20	124	0,075
2605	52	Star Forming	5,702	366,14	143	14,16	51	0,643
547	441	Star Forming	5,494	250,93	144	124,40	133	0,076
1813	132	Star Forming	3,749	256,46	148	119,96	123	0,169
411	180	Star Forming	3,459	250,05	149	142,64	123	0,174
700	242	Star Forming	3,697	275,13	150	142,75	136	0,093
785	461	Star Forming	4,135	290,12	151	146,42	100	0,338
683	136	Star Forming	4,020	282,39	154	54,87	138	0,104
1981	553	Star Forming	3,266	263,09	157	150,70	146	0,070
757	190	Star Forming	3,355	288,50	159	171,56	158	0,006
2646	139	Star Forming	3,042	253,67	166	157,32	151	0,090
765	83	Star Forming	3,254	453,37	170	153,21	162	0,047
1597	433	Star Forming	3,077	269,32	175	157,49	171	0,023
276	125	Star Forming	4,746	269,65	180	144,32	152	0,156
1714	503	Star Forming	5,842	258,24	181	108,77	57	0,685
984	597	Star Forming	3,584	265,82	187	158,06	156	0,166
2362	361	Star Forming	3,475	275,35	188	169,37	173	0,080
1347	280	Star Forming	18,080	253,59	189	70,74	182	0,037
1773	637	Star Forming	4,084	254,48	190	175,66	135	0,289

PLATE	FIBERID	BPT	AON	$\sigma_{[OIII], catal.}$ (km/s)	$\sigma_{[OIII], aj.}$ (km/s)	$\sigma_*, catal.$ (km/s)	$\sigma_*, aj.$ (km/s)	VPS
1349	323	Star Forming	3,327	303,03	207	143,11	137	0,338
501	556	Star Forming	5,462	251,27	212	139,03	147	0,307
1201	370	Star Forming	3,931	250,55	212	175,28	168	0,208
2026	127	Star Forming	3,136	281,18	214	189,59	185	0,136
1283	639	Star Forming	4,854	252,78	216	141,71	154	0,287
691	218	Star Forming	5,095	273,18	218	112,66	116	0,468
1334	620	Star Forming	3,345	292,84	222	166,90	158	0,288
2764	54	Star Forming	3,949	255,49	223	189,99	216	0,031
1186	105	Star Forming	3,628	254,81	231	133,12	136	0,411
1059	219	Star Forming	3,209	300,74	232	127,11	1	0,996
1232	77	Star Forming	10,446	266,13	233	179,40	187	0,197
999	491	Star Forming	18,305	276,40	239	159,12	193	0,192
2245	469	Star Forming	4,098	272,29	245	237,70	239	0,024
901	146	Star Forming	3,886	257,98	249	186,35	207	0,169
1950	440	Star Forming	4,882	261,79	250	95,95	191	0,236
1577	233	Star Forming	9,071	253,42	251	200,85	184	0,267
2650	606	Star Forming	3,133	252,32	260	200,70	198	0,238
494	73	Star Forming	3,905	288,97	264	237,14	239	0,095
1809	188	Star Forming	4,251	258,33	265	176,67	197	0,257
740	496	Star Forming	3,142	265,41	269	193,99	186	0,309
476	370	Star Forming	14,362	440,57	275	174,19	120	0,564
724	76	Star Forming	3,913	318,54	277	163,65	190	0,314
724	64	Star Forming	4,783	293,34	277	219,17	190	0,314
1646	270	Star Forming	4,910	304,96	279	210,70	216	0,226
1607	129	Star Forming	4,907	276,84	283	222,04	225	0,205
2754	530	Star Forming	4,127	275,75	294	185,16	190	0,354
273	378	Star Forming	3,254	264,14	295	162,60	202	0,315
450	224	Star Forming	11,277	315,92	322	232,90	303	0,059
1377	625	Star Forming	3,194	256,91	324	157,49	177	0,454
2651	609	Star Forming	5,608	362,93	387	211,88	203	0,475
372	549	Star Forming	3,024	362,08	393	317,37	284	0,277
2294	582	Star Forming	4,144	386,35	405	197,99	249	0,385
1049	594	Star Forming	6,539	472,53	483	79,32	71	0,853
884	374	Star Forming	3,167	395,25	601	142,89	78	0,870
2532	165	Seyfert	37,569	347,74	141	95,61	124	0,121
1762	528	Seyfert	23,999	265,31	154	52,19	103	0,331
2101	51	Seyfert	3,827	277,26	174	70,91	78	0,552
2482	73	Seyfert	34,786	295,51	194	62,56	136	0,299
1377	519	Seyfert	57,763	289,39	198	94,09	139	0,298
2016	430	Seyfert	122,183	250,48	201	106,04	41	0,796
267	297	Seyfert	5,375	295,88	212	200,62	208	0,019
412	395	Seyfert	15,026	331,72	218	105,68	115	0,472
1265	465	Seyfert	14,830	274,07	220	141,86	182	0,173

PLATE	FIBERID	BPT	AON	$\sigma_{[OIII]}, \text{ catal.}$ (km/s)	$\sigma_{[OIII]}, \text{ aj.}$ (km/s)	$\sigma_*, \text{ catal.}$ (km/s)	$\sigma_*, \text{ aj.}$ (km/s)	VPS
825	596	Seyfert	24,340	267,13	222	73,47	13	0,941
2120	277	Seyfert	63,647	263,24	222	128,41	152	0,315
2025	460	Seyfert	8,523	265,15	225	84,87	80	0,644
726	71	Seyfert	25,783	283,53	228	111,69	135	0,408
2275	634	Seyfert	43,843	266,53	229	183,02	184	0,197
2590	114	Seyfert	8,647	270,94	232	189,49	197	0,151
853	579	Seyfert	3,015	317,25	239	150,48	167	0,301
2521	154	Seyfert	32,426	307,72	240	127,23	173	0,279
1458	173	Seyfert	23,040	256,59	242	110,30	191	0,211
489	330	Seyfert	20,773	253,71	244	121,60	124	0,492
1618	453	Seyfert	22,110	279,26	246	108,34	109	0,557
1617	214	Seyfert	30,070	271,98	247	167,00	159	0,356
1167	527	Seyfert	42,066	255,79	247	195,75	198	0,198
294	438	Seyfert	72,255	278,04	252	51,71	47	0,813
1214	528	Seyfert	5,324	253,65	252	95,83	119	0,528
2500	11	Seyfert	17,808	255,84	255	131,69	135	0,471
618	11	Seyfert	13,123	264,52	256	82,78	94	0,633
1167	574	Seyfert	11,219	255,52	256	144,40	151	0,410
804	83	Seyfert	8,530	313,21	259	81,90	122	0,529
1814	323	Seyfert	63,677	340,92	261	119,61	147	0,437
1104	218	Seyfert	5,791	275,51	263	212,40	217	0,175
375	454	Seyfert	5,607	292,47	265	250,45	239	0,098
1692	491	Seyfert	16,154	288,73	266	146,48	194	0,271
560	571	Seyfert	3,181	310,25	268	159,73	157	0,414
2742	510	Seyfert	12,375	282,93	268	119,59	156	0,418
1370	312	Seyfert	32,613	300,18	273	133,17	155	0,432
2755	139	Seyfert	17,245	320,78	276	25,03	56	0,797
1568	517	Seyfert	64,843	297,33	279	185,18	190	0,319
580	131	Seyfert	3,697	285,97	282	200,61	202	0,284
690	160	Seyfert	5,430	316,88	285	195,68	191	0,330
1420	270	Seyfert	35,734	316,08	285	42,63	71	0,751
600	529	Seyfert	10,893	298,98	291	287,38	304	-0,045
865	608	Seyfert	9,218	301,64	294	143,31	146	0,503
2235	235	Seyfert	11,984	330,36	294	112,76	133	0,548
1577	432	Seyfert	10,401	366,34	296	133,07	177	0,402
960	261	Seyfert	18,813	338,89	309	162,64	162	0,476
1394	511	Seyfert	14,251	337,82	312	95,79	125	0,599
536	234	Seyfert	8,510	338,95	318	185,40	187	0,412
1463	262	Seyfert	14,743	488,67	319	93,52	108	0,661
1949	214	Seyfert	15,704	330,26	320	183,41	184	0,425
1158	630	Seyfert	8,595	329,49	322	164,04	240	0,255
901	180	Seyfert	6,929	326,40	337	230,01	249	0,261
1774	507	Seyfert	12,019	360,85	339	183,70	187	0,448



PLATE	FIBERID	BPT	AON	$\sigma_{[\text{OIII}]}$ , <i>catalog.</i> (km/s)	$\sigma_{[\text{OIII}]}$ , <i>aj.</i> (km/s)	$\sigma_*$ , <i>catalog.</i> (km/s)	$\sigma_*$ , <i>aj.</i> (km/s)	VPS
2268	304	Seyfert	11,252	424,88	342	113,02	137	0,599
2173	431	Seyfert	22,539	351,78	342	277,59	283	0,173
734	35	Seyfert	16,285	429,18	370	84,10	101	0,727
1710	571	Seyfert	6,199	391,82	376	239,29	217	0,423
876	332	Seyfert	7,122	434,11	398	244,61	203	0,490
983	594	Seyfert	9,892	326,94	402	199,31	224	0,443
1163	169	Seyfert	4,369	356,64	404	84,51	115	0,715
2580	113	Seyfert	3,736	251,62	428	89,65	170	0,603

Tabla A.1: Tabla de datos de la muestra final de galaxias Star Forming y de la muestra de control de galaxias AGN.

## A.2. Ajustes

Ajustes de algunas galaxias candidatas a tener vientos AGN fósiles y tres galaxias con  $\sigma_{[\text{OIII}]}$  baja. En los ajustes se muestra en color negro el espectro observado, en color naranja el mejor ajuste total del espectro, en rojo se muestra el mejor ajuste estelar del espectro, magenta la emisión del gas, en diamantes verdes los residuos y en azul los píxeles que se han cubierto con una máscara (y sus correspondientes bandas verticales en gris).

### A.2.1. Galaxias Star Forming con $\sigma_{[\text{OIII}]}$ alta

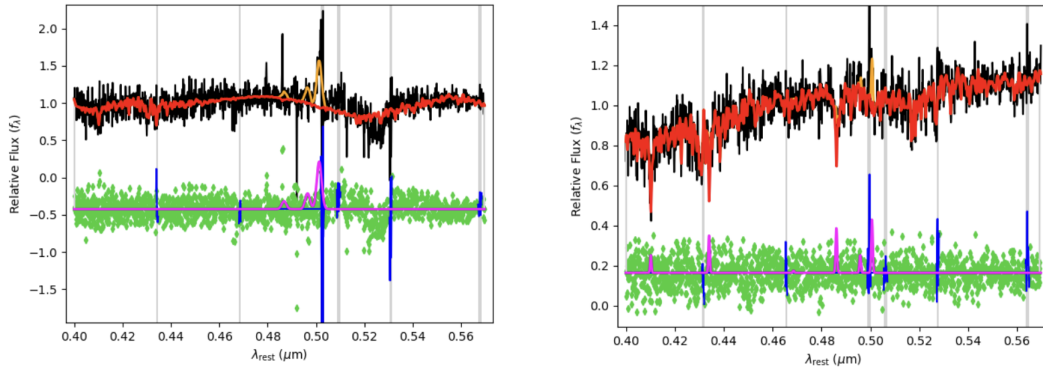
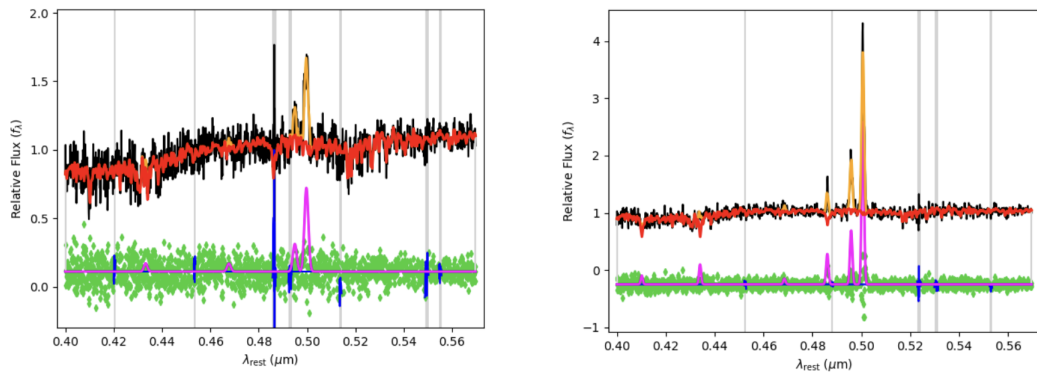
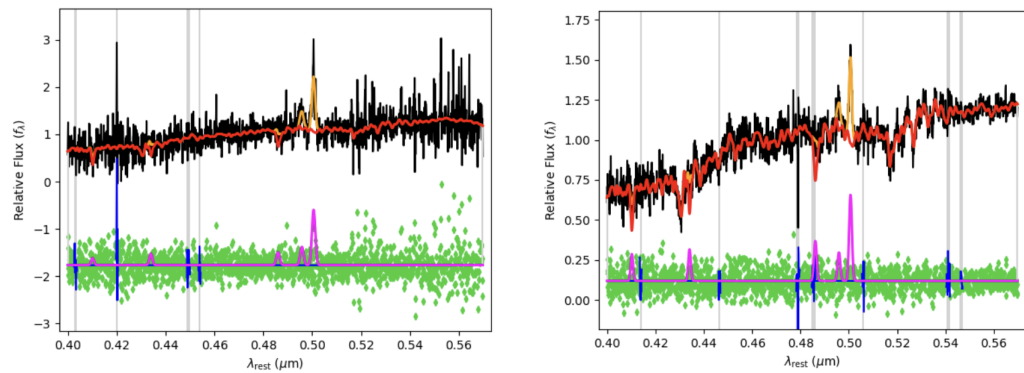


Figura A.1. Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 884.374 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 2101.51 de control AGN (derecha).

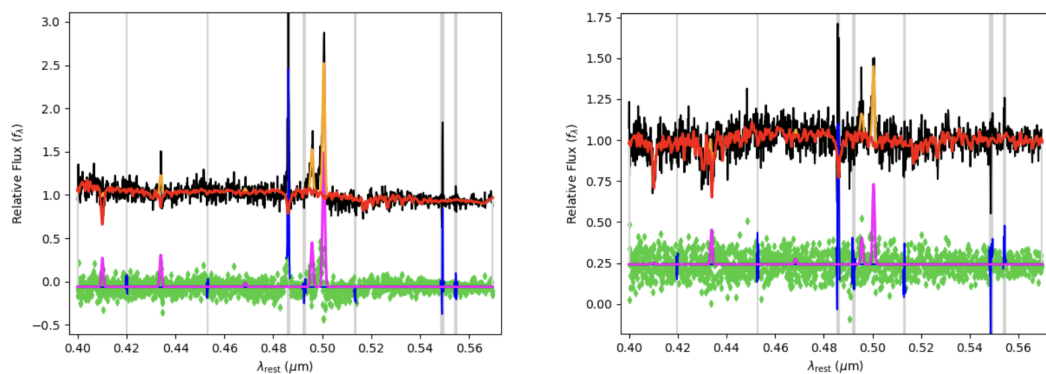


**Figura A.2.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 1049.594 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 1420.270 de control AGN (derecha).

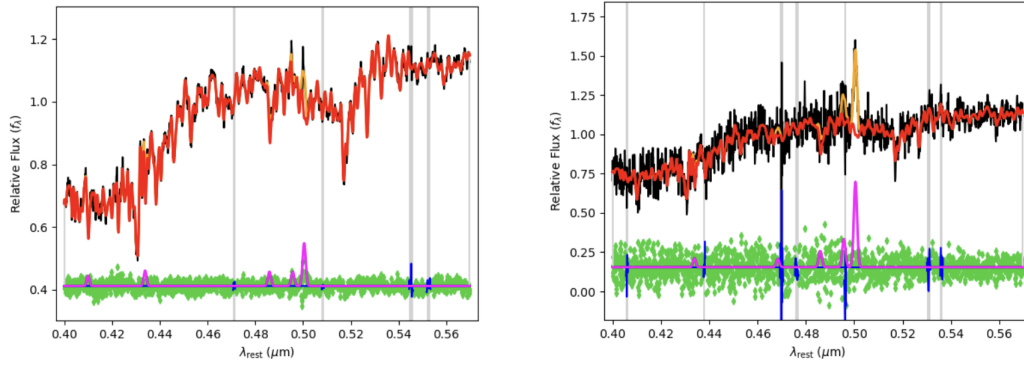


**Figura A.3.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia Star Forming 2294.582 (izquierda) y de la galaxia 901.180 de control AGN (derecha).

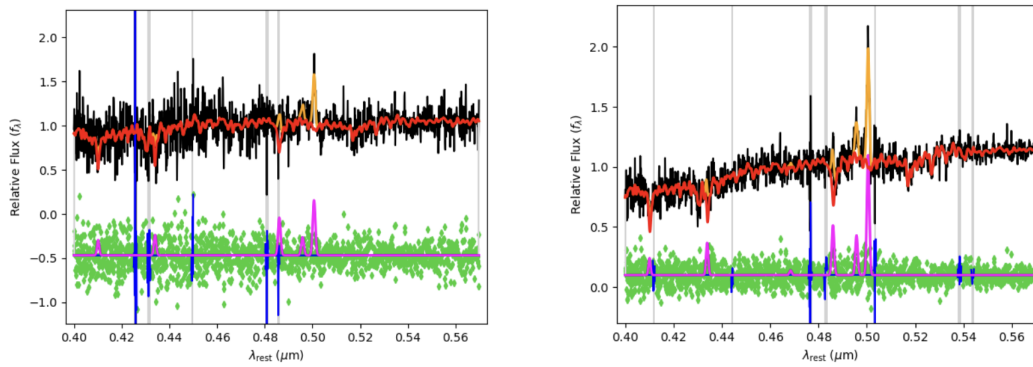
### A.2.2. Galaxias Star Forming con $\sigma[\text{OIII}]$ intermedia



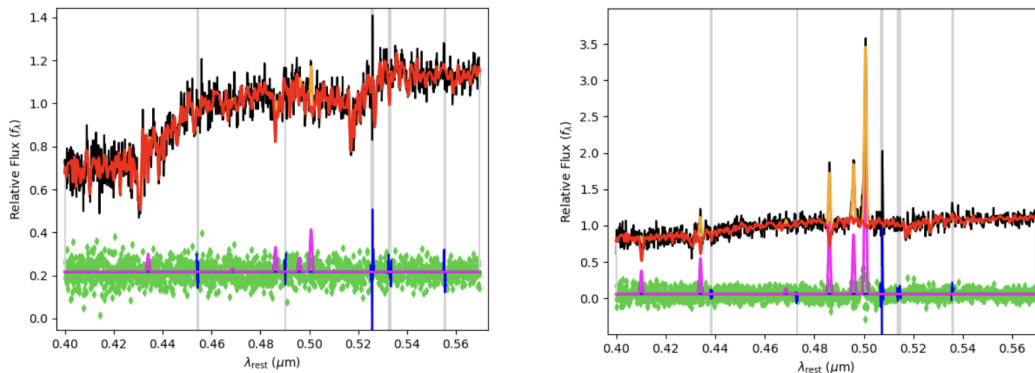
**Figura A.4.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 476.370 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 1214.528 de control AGN (derecha).



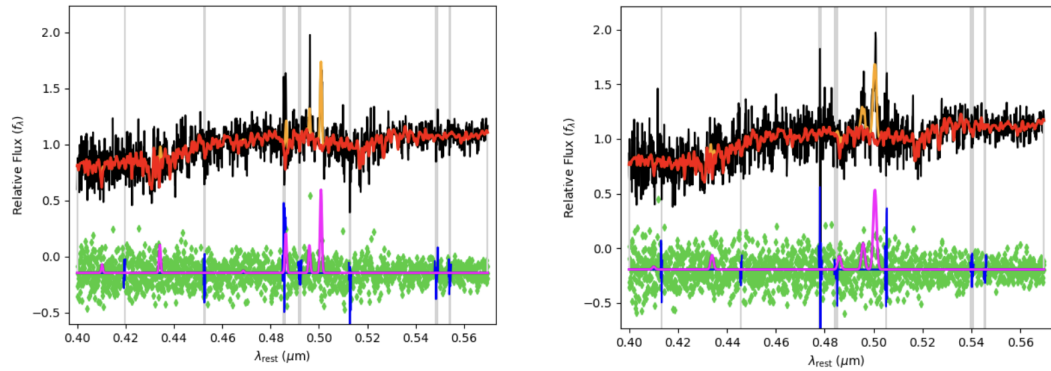
**Figura A.5.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 2651.609 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 876.332 de control AGN (derecha).



**Figura A.6.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia Star Forming 1377.625 (izquierda) y de la galaxia 1577.432 de control AGN (derecha).

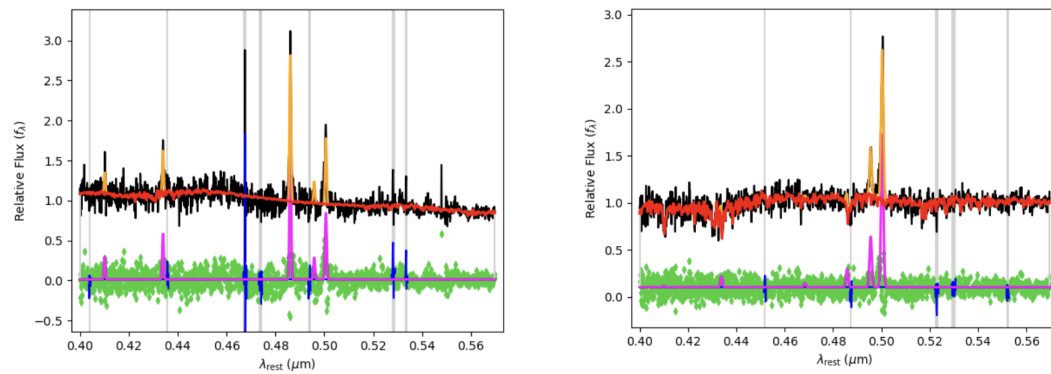


**Figura A.7.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 1186.105 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 726.71 de control AGN (derecha).

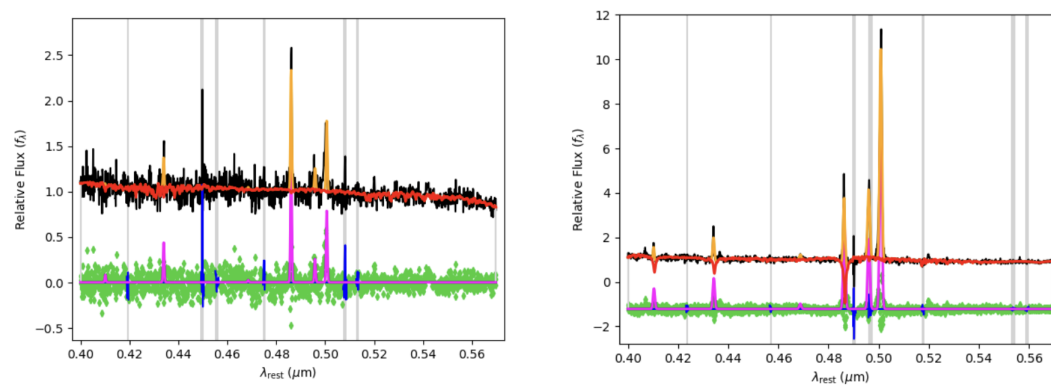


**Figura A.8.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia Star Forming 691.218 (izquierda) y de la galaxia 1163.169 de control AGN (derecha).

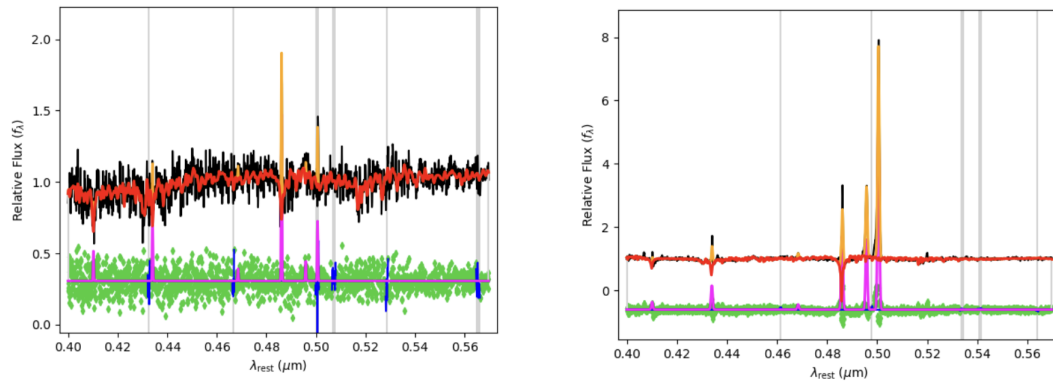
### A.2.3. Galaxias Star Forming con $\text{sigma}[\text{OIII}]$ baja



**Figura A.9.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 1714.503 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 2755.139 de control AGN (derecha).



**Figura A.10.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia 2605.52 Star Forming (izquierda) y de la galaxia 294.4381 de control AGN (derecha).



**Figura A.11.** Ajuste realizado con pPXF ([Cappellari *et al.* 2023]) de la galaxia Star Forming 302.534 (izquierda) y de la galaxia 2016.436 de control AGN (derecha).