



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# ESTUDIO DE UNA POSIBLE CORRELACIÓN ENTRE LA TASA DE FORMACIÓN ESTELAR Y EL TAMAÑO DE LA BLR EN AGNs

**Karla Alejandra Cutiva Alvarez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias  
Observatorio Astronómico Nacional  
Bogotá D.C., Colombia  
2018



# ESTUDIO DE UNA POSIBLE CORRELACIÓN ENTRE LA TASA DE FORMACIÓN ESTELAR Y EL TAMAÑO DE LA BLR EN AGNs

Karla Alejandra Cutiva Alvarez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ciencias-Astronomía**

Director:  
Ph.D., Mario Armando Higuera Garzón

Línea de Investigación:  
Núcleos Activos de Galaxias (AGNs)

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias  
Observatorio Astronómico Nacional  
Bogotá D.C, Colombia

2018



## (Dedicatoria)

Dedico esta tesis a mis Padres Rodrigo Cutiva y Rosalbina Alvarez, a mis Hermanas Paula Cutiva y Diana Cutiva, por su apoyo incondicional, a mi comunidad Maria Reina de la Paz por sus oraciones constantes y finalmete al interes compuesto que es la fuerza más poderosa de las GALAXIAS...

“Imagínate al Universo que empieza a cantar. No son voces humanas, si no los planetas y los soles que giran entonando su himno”.

Gustavo Mahler.



# Agradecimientos

En este trabajo de investigación le doy gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi familia. Gracias a a mi tutor Mario Armando Higuera por la dedicación constante a este trabajo, quiero agradecerle a él por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera, agradecerle por la caridad y exactitud con la que enseño en cada tutoria y clase. Gracias Profesor por haber elegido ser maestro, gracias a ti por haberme enseñado y por haberme permitido el desarrollo de esta tesis.





## Resumen

Desde aquel descubrimiento, hace ya más de 50 años, los Núcleos Activos de Galaxias (AGNs, Active Galactic Nuclei, por sus siglas en inglés), habitan en los centros de las galaxias cercanas, como también en galaxias muy distantes. La intensa emisión proveniente de estas fuentes ha despertado un gran interés, en la comunidad de Astrónomos y Astrofísicos, por conocer y aprender el mecanismo generador de estas grandes cantidades de energía, e indagar por las estructuras que caracterizan a una galaxia con núcleo activo de una que no lo contenga.

Uno de los temas de mayor interés y de investigación en la actualidad, es la relación que existe entre la actividad al interior del núcleo activo y la formación estelar circumnuclear. Al estudiar esta relación, algunos trabajos encuentran que la actividad del agujero negro central y la formación estelar están correlacionados. Por otra parte, la gran cantidad de energía entregada por un AGN, presiona y calienta el material de polvo y gas circumnuclear dando lugar a un incremento en la actividad estelar.

En esta tesis de maestría se pretendió abarcar el estudio de los AGN locales ( $z < 0.1$ ) con el objetivo de caracterizar los procesos físicos que existen en la región de líneas anchas (BLR, Broad Line Region, por sus siglas en inglés), con la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs, Aromatic Polycyclic Hydrocarbons, por sus siglas en inglés), moléculas base en la determinación de la tasa de formación estelar (SFR, star formation rate, por sus siglas en inglés). Para llevar a cabo este trabajo se desarrolló un código en Python con el fin de acceder a las base de datos (NED nasa extragalactic database) la cual contienen observaciones provenientes de satélites como: XMM, Chandra, IRAS y Spitzer, así como observaciones hechas con instrumentos en tierra.

Para alcanzar este objetivo se propuso revisar los estudios, en la determinación del tamaño de la BLR llevados a cabo por Kaspi et al (2005,[72]), usando tiempos de reverberación, y quienes encontraron unos estimadores del tamaño de la BLR en términos de  $\lambda L_{\lambda}(5100\text{\AA})$ ,  $\lambda L_{\lambda}(1450\text{\AA})$  y (2-10keV) y por otra parte los trabajos de Aleksandar (2012) para la determinación de la SFR usando las emisiones de PAH en  $11.3 \mu\text{m}$ . El análisis confirma que hay una correlación entre  $R_{BLR}$ -SFR de la forma:  $R_{BLR} \propto \text{SFR}^{\alpha}$ . Adicionalmente usando la luminosidad  $L_{\lambda}(5100\text{\AA})$  y  $L_{\lambda}(1450\text{\AA})$  para la determinación del tamaño de la BLR se obtiene una correlación aceptable con la tasa de formación estelar medida de nuevo en  $11.3\mu\text{m}$ , resultados que concuerdan con otras estimaciones llevadas a cabo por Diamonc-Stanic (2012,[35]) y Esquej et al (2013,[121]).

# Contenido

<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Núcleos Activos de Galaxias (AGNs)</b>	<b>5</b>
2.1 Actividad Nuclear . . . . .	5
2.1.1 Reconocimiento de Actividad Nuclear . . . . .	6
2.2 Clasificación de los AGNs . . . . .	6
2.2.1 <b>Radio Silenciosas</b> . . . . .	6
2.2.2 <b>Radio Ruidosos</b> . . . . .	10
2.3 AGNs activos en el infrarrojo . . . . .	12
2.3.1 <b>Radiación en el infrarrojo en Galaxias Seyfert</b> . . . . .	12
2.4 <b>Modelo Unificado: Los AGNs</b> . . . . .	16
2.4.1 Componentes del modelo unificado para AGNs . . . . .	17
2.5 Emisiones de PAHs . . . . .	20
2.5.1 Características de los PAHs . . . . .	21
2.6 Tasa de Formación Estelar (SFR) . . . . .	22
2.6.1 <b>Formación de Estrellas en Galaxias</b> . . . . .	23
2.7 PAHs y Formación Estelar . . . . .	25
2.7.1 Formación de Estrellas en Regiones Circumnucleares . . . . .	26
2.8 Tamaño de las Regiones de Líneas Anchas . . . . .	27
2.9 Conexión AGN-Starburst . . . . .	32
<b>3 Selección de la Muestra y Análisis de Datos</b>	<b>36</b>
3.1 Correlación Tiempos de Reverberación ( $\tau$ ) - SFR PAH( $11.3\mu\text{m}$ ) . . . . .	37
3.2 Correlación $L(2 - 10\text{keV})$ -SFR . . . . .	37
3.3 Correlación $\lambda_{L\lambda}5100\text{\AA}$ - SFR . . . . .	42
3.4 Correlación $\lambda_{L\lambda}1450\text{\AA}$ -SFR . . . . .	44
<b>4 Conclusiones</b>	<b>48</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>50</b>

# 1 Introducción

En esta introducción se contextualiza y relaciona dos artículos que componen esta tesis de maestría, uno de ellos es el trabajo de Kaspi et al (2005,[72]), el cual es encontrar la relación entre el tamaño de las Regiones de Líneas anchas ( $R_{BLR}$ ) y la luminosidad de las líneas de emisiones en Balmer, Rayos X, UV y el continuo en el óptico. Estos estudios hacen uso de las mejores determinaciones disponibles para una gran cantidad de núcleos activos de galaxias (AGNs). Usando sus análisis disponibles de la  $R_{BLR}$  para una gran muestra de AGNs, y utilizando dos métodos de regresión diferentes. Donde suponiendo una ley de potencia  $R_{BLR} \propto L^\alpha$  encontraron un mejor ajuste de aproximadamente  $0,67 \pm 0,05$  para el óptico,  $0,56 \pm 0,05$  para el UV y  $0,70 \pm 0,4$  para Rayos X. Otro de los artículos resaltantes en este trabajo es el de Diamond-Stanic et al (2012,[35]), donde presentaron las estimaciones de la tasa de acreción de un agujero negro y la tasa de formación estelar para una muestra de galaxias Seyfer. Usando datos del telescopio Espacial Spitzer, midieron la luminosidad del núcleo activo usando línea de emisión [O IV]  $25,89 \mu\text{m}$  y la luminosidad de formación de estrellas usando el aromático PAH en  $11,3 \mu\text{m}$ , y la emisión en el continuo en  $24 \mu\text{m}$ . Encontraron que el crecimiento del agujero negro está fuertemente correlacionado con la formación de estrellas circumnucleares a una distancia de ( $r > \text{kpc}$ ) donde solo se relaciona con la formación de estrellas lejanas en la galaxia anfitriona. La tasa de formación estelar (SFR) trazada por el aromático  $11,3 \mu\text{m}$  tiene una relación de  $\text{SFR} \propto \dot{M}_{BH}^{0,8}$ , con una dispersión de 0,5. En este trabajo se sugiere que la escala observada entre la formación de estrellas y el crecimiento del agujero negro para una muestra de AGNs, dependería si la tasa de formación estelar esta oprimida por un componente nuclear.

Dichas relaciones emergen de la dependencia encontrados en los trabajos explicados anteriormente, ya que para la culminación de esta tesis se revisó los procesos que utilizó Kaspi et al (2005,[72]) para el desarrollo del tamaño de la BLR con tiempos de reverberación y de Diamond-Stanic et al (2012,[35]) el proceso para el desarrollo de la SFR en las galaxias estudiadas. Siendo así se elaboró todo el cálculo y se revisó la existencia de la correlación entre la SFR y  $R_{BLR}$ , donde una de las aproximaciones es que a mayores tamaños de las regiones de líneas anchas, asociadas a núcleos activos con mayor potencia de emisión, implican mayor actividad en la formación de estrellas en regiones circumnucleares al AGN, esto finalmente brinda una conexión AGN-Starburst, la cual ha sido objeto de intenso estudio y análisis especializados en los últimos años.

Para probar esta hipótesis se seleccionó 450 AGNs, donde todo el filtro que se utilizó para lograr obtener la información necesaria se bajo de la base de datos NED (Nasa Extragalactic Database, por sus siglas en ingles) y fueron estudiados por Higuera, Armando (2012,[49]), estas galaxias son clasificadas como objetos tipo Seyfert 1 y con indicador de PAH en  $11.3 \mu\text{m}$ , donde en la  $L(2 - 10\text{keV})$  se logró recopilar 15 objetos con la información necesaria, para  $\lambda L\lambda$  ( $5100\text{\AA}$ ) 10 objetos y para  $\lambda L\lambda$  ( $1450\text{\AA}$ ) se utilizaron 15 objetos, esta información fué necesaria obtenerla para poder hallar el tamaño de las regiones de líneas anchas (BLR) y la tasa de formación estelar (SFR) utilizando la herramienta de Python.

Diversos estudios muestran que los AGNs son poderosas fuentes de energía detectada en ellos, y han sido objeto de intenso estudio por astrónomos y astrofísicos durante los últimos 40 años y quienes han mantenido el interes sobre su origen y la relación que puede existir entre el núcleo activo y la actividad estelar, (Ramos-Almeida 1997,[126]). El objetivo de esta tesis, se centra en indagar por las posibles conexiones entre los procesos físicos que se generan en el Núcleo Activo con la actividad de estrellas en las regiones circumnucleares de sus respectivas galaxias huesped.

La relación de la actividad del AGN y la emisión de una componente estelar, se ha puesto en evidencia a través de las emisiones en infrarrojo (IR) Rieke & Low (1972,[52]), Vander Kruit (1971,[158]), las cuales abren un debate sobre el origen de la emisión infrarroja y una discusión si era térmico o no, Rees et al.(1969,[128]);Burbidge & Stein (1970,[21]) concluyeron que gran parte de la galaxia en la emisión del infrarrojo, procede de la re-emisión de polvo de la radiación estelar Riek & Lebofsky (1979,[130]). El origen de la formación estelar es mucho más sencilla, y se necesita de la radiación necesaria para calentar el polvo en (galaxias normales) o con explosiones de formación de estrellas (Galaxias Starburst), pero un núcleo del AGN que en su alrededor tiene polvo podría dar una explicación a esta fuerte emisión en el infrarojo en galaxias Tipo I y Quasares, Caballero-Hernán (2008,[22]).

El Infrared Astronomical Satellite (IRAS) en el año 1980 observa y analiza la misión de AGNs cuatro bandas en el infrarrojo medio y lejano o ( $12, 25, 60$  y  $100\mu\text{m}$ ), y permitió descubrir galaxias muy luminosas en el IR en comparación con sus emisiones en el óptico,las cuales denominó Luminous Infrared Galaxies (LIRGs) donde su luminosidad infrarroja integrada desde  $8$  hasta  $100 \mu\text{m}$  ( $L_{IR}$ ) es del orden de  $10^{11}$  ó  $10^{12}$ , ó también las denominadas Ultra-luminous Infrared Galaxies (ULIRGs) si era mayor a  $10^{12}$  ( $L_{\odot}$ ), Soifer et al (1987,[147]); Sanders & Mirabel (1996,[141]);Caballero-Hernán (2008,[22]).

Otro factor importante de tratar en este trabajo son las observaciones que se obtienen con Rayos X duros ( $2-10 \text{keV}$ ). La detección de esta emisión en los AGNs es uno de los métodos más confiables para estudiar sus propiedades Mushotzky (2004,[108]). El MIR ha obtenido buenos resultados ya que son muy útiles para identificar AGNs, siempre y cuando si no hay

observaciones en Rayos X, la emisión en el MIR da buenos resultados, pero es difícil diferenciar cuando la emisión infrarroja inicia de la reemisión del polvo calentado del AGN o por formación estelar en galaxias sin actividad nuclear. La solución de este problema se hace utilizando colores típicos en el MIR (Lacy et al(2004,[90]); Stern et al(2005,[151]); Alonso-Herrero et al (2006,[6]); Donley et al (2008,[38]) y Ramos-Almeida(2009,[126])).

Para indagar este proceso se tiene varios estudios en Rayos X: Swift Burst Alert Telescope (BAT); Tueller et al (2008,[2]); Baumgartner et al., (2013,[88]) o INTEGRAL (Krivonos al.,(2010,[89])). Por otro lado el instrumento (Swift / BAT), abarca un estudio amplio en Rayos X duros de los AGNs, y contienen observaciones a un rango de absorción intrínseca, y son menos sesgados y muchos más completos en el óptico, Richards et al.,(2006,[129]) y en Rayos X duros (Hasinger et al., (1998,[61])).

Con el fin de encontrar elementos de apoyo a la línea AGN-Starburst se presentan dos estimaciones importantes para el desarrollo de este trabajo utilizando observaciones del continuo y de bandas de PAH, la primera es como estimar el tamaño de las regiones de líneas anchas basados en trabajos de Kaspi et al., (2000,[73]),(2005,[72]), y la segunda es el cálculo de la tasa de formación estelar apoyados en trabajos de Maiolino et al. (2008,[101]), Kennicutt (1998,[79]) y Diamond-Stanic et al. (2012,[35]). En este primer desarrollo se utilizó la técnica de los tiempos de reverberación ver sección (2.8), para el estudio de las regiones de líneas anchas, con el fin de indagar la metalicidad, enriquecimiento químico y enfriamiento del gas presente en aquella región. Estos proceso no se resuelve espacialmente si no con base de medidas de reverberación, donde la variación del flujo de las líneas anchas responden por las variaciones de la luminosidad en el continuo Higuera,Armando (2011,[49]). Las líneas de emisión. Por tal motivo las reverberaciones en las líneas de emisión son retrasadas según la variación del continuo debido al tiempo de propagación de la emisión a una velocidad  $c$ , Blanford & McKee (1982,[15]).

La SFR, está asociado al espectro del infrarrojo medio de los núcleos activos de las galaxias, Kennicutt (1998,[79]) llevó un trabajo donde derivó un conjunto de estimadores de la SFR a lo largo de la secuencia de Hubble, donde se profundizara más en el capítulo 2.

Usando medidas de los tiempos de reverberación, Kaspi et al. (2005,[72]) determinaron el tamaño de la BLR y correlacionó esta medida con las emisiones en  $5100\text{\AA}$ ,  $L(\text{H}\beta\ 4861\text{\AA})$ ,  $L(1450\text{\AA})$ ,  $L(1350\text{\AA})$  y Rayos X duros ( $L2 - 10\text{keV}$ ). Otros estudios afirman Por otra parte Maiolino (2008,[101]), derivó la tasa de formación estelar utilizando las líneas de PAH en  $7,7\mu\text{m}$  y encontró una correlación con la luminosidad en  $L_\lambda(5100\text{\AA})$ . Cuatro años después, Diamond-Stanic et al. (2012,[?]), derivaron la tasa de formación estelar (SFR) utilizando la línea de PAH en  $11,3\mu\text{m}$  y encontraron una correlación directa con la tasa de acreción de material en el agujero negro.

Nuestros objetivos son:

- Establecer el tamaño de la BLR con base en las observaciones en:  $L_{\lambda}(5100\text{\AA})$ ,  $L_{\lambda}(1450\text{\AA})$  y  $(L2 - 10\text{keV})$ .
- Utilizando el código Python se hallará usando la emisión de PAH en  $11,3\mu\text{m}$  la tasa de formación estelar.
- Encontrar una posible correlación entre la tasa de formación estelar y el tamaño de las regiones de líneas anchas.

Este trabajo esta estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo 1 se describirá con una pequeña introducción toda la parte estructural del trabajo. En el capítulo 2 se describirá la fenomenología asociada a los núcleos activos de galaxias, se revisará la estructura y emisiones de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) y se presentará la base teórica para estimar el tamaño de la región de líneas anchas (BLR) y como estimar la tasa de formación estelar (SFR) con base en la emisión de PAHs. En el capítulo 3 se tabulará la muestra de galaxias a estudiar y se llevará a cabo la estimación del tamaño de la BLR y SFR. Adicionalmente se procederá a desarrollar el análisis de los datos, elaboración de gráficos y la determinación de la posible correlación entre las variables involucradas para este trabajo. En el Capítulo 4 se presentará las conclusiones

## 2 Núcleos Activos de Galaxias (AGNs)

Los agujeros negros (ANs, Black Holes por sus siglas en inglés), son sin lugar a duda, la parte esencial en la dinámica de un AGN. Como tal se encuentra ubicado en el centro de una galaxia activa y es considerado como una pieza clave en la evolución y en gran parte, de la formación estelar galáctica (Magorrian et al. 1998[98]; Kormendy 2004,[87]). La acreción de este material es el mecanismo indicado para la generación de energía, que define a los núcleos activos de galaxias.

En el universo local se pueden dividir los AGNs en dos tipos, teniendo en cuenta su actividad nuclear, el primero estaría asociado a galaxias Seyfert y el segundo a los Quásares, teniendo una tasa de acreción muy alta, para Seyfert es ( $\sim 1M_{\odot}/\text{año}$ ) y ( $\sim 2M_{\odot}/\text{año}$ ) para los Quásares, estos procesos son responsables del incremento de la masa en los ANs, Frank et al (2004,[46]).

Así mismo, se ha encontrado una fuerte relación entre el ritmo del crecimiento y la formación estelar en las galaxias que las hospedan, Heckman (2008,[1]). Siendo así la formación estelar necesita del gas frío para poder alimentarse pero además es el combustible principal de los ANs igualmente la formación estelar suministra una fuente importante de realimentación para el ANs por medio de vientos estelares nacidos de supernovas, Heckman (2008,[1]); Ramos-Almeida(2009,[126]).

### 2.1. Actividad Nuclear

Los AGNs juegan un papel importante en la formación estelar circumnuclear en las galaxias, Granato et al (2004,[57]); Springel et al (2005,[149]). Tanto en observaciones como en simulaciones la energía producida por un AGN calienta el material interestelar afectando la formación estelar. La formación estelar y el AN central se alimentan del mismo gas frío, a medida que el AN crece, la galaxia evoluciona, y el gas adecuado para formar estrellas se va agotando, con el sucesivo descenso de la tasa de formación estelar, Ramos-Almeida(2009,[126]).

En la selección de algunos AGNs en Radio y en Rayos X, Waddington et al (2001,[164]) y Hasinger (2003,[61]) han hallado formación estelar y actividad nuclear, donde las dos tienen una dependencia común de la masa de la galaxia, Heavens et al (2004,[62]). Las galaxias muy masivas tienen una mayor cantidad de gas disponible para alimentar el AGN, pero también

tiene un potencial gravitacional mayor, haciendo más fácil que el gas caiga hacia el centro de la galaxia, de tal modo que el tiempo necesario para acretar material como para arrancar el AGN, es mucho menor en el caso de las galaxias con poca masa, así estas tardan en iniciar su ciclo en actividad nuclear, Waddington et al (2001,[164]) y Ramos-Almeida(2009,[126]), por tal razón es importante pensar las condiciones para que una galaxia inicie su formación estelar, donde está íntimamente relacionado con el inicio de su actividad nuclear. Además, en favor de este razonamiento, se destaca la presencia de Starbursts en las regiones circumnucleares de galaxias activas, que es común en distintos tipos de AGNs incluyendo las galaxias Seyfert (Imanishi (2002,[69] 2003,[70]; Heckman et al (1997,[1]), AGNs de baja luminosidad y radio galaxias (Wills et al (2002,[167])).

### 2.1.1. Reconocimiento de Actividad Nuclear

Los AGNs se pueden identificar de diversas maneras, teniendo en cuenta las características de sus espectros, por ejemplo líneas de emisión muy intensas a lo largo de todo el rango espectral, un continuo en el óptico muy azul e intensas emisiones en rayos X, Ramos-Almeida(2009,[126]). Teniendo en cuenta estas características, se puede ignorar por la actividad nuclear en galaxias locales, y una de la forma más sencilla de hacerlo es mediante espectroscopía tanto en el óptico como en el IR. En el rango del visible los AGNs se estudian utilizando un gran número de instrumentos ópticos terrestres. Donde uno de los métodos de clasificación espectral de emisión más utilizados, es el diagrama Baldwin, Phillips y Terlevich (BPT), Baldwin et al (1981,[14]), años después tuvo modificaciones llevadas a cabo por Veilleux & Osterbrock (1987,[160]). Este diagrama está basado en la comparación de la intensidad de otras líneas, que también caracterizan el tipo de radiación ionizante, Ramos-Almeida(2009,[126]), como se evidencia en la (Figura 2-1). De esta forma existe una posibilidad de distinguir entre las fuentes del continuo y donde el gas está ionizado por formación estelar, teniendo en cuenta que una fuente con un continuo es de la forma ley de potencia, donde se genera un fuerte componente en rayos X.

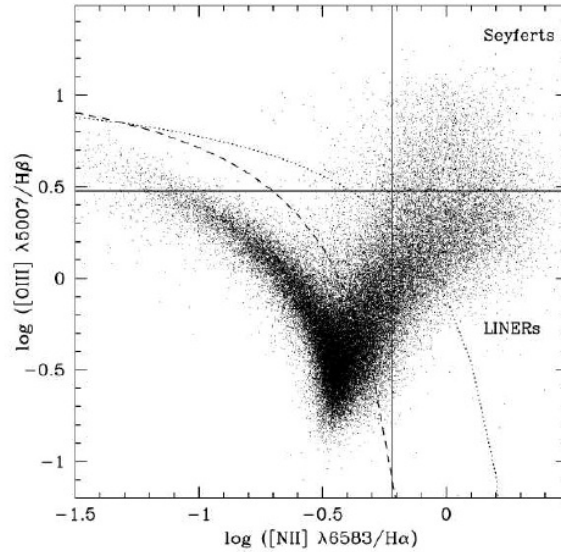
## 2.2. Clasificación de los AGNs

Existen muchos tipos de AGNs, separados según sus características observacionales en los diferentes rangos del espectro. Tomando las emisiones en radio se clasifican:

### 2.2.1. Radio Silenciosas

Son galaxias muy activas y se caracterizan por tener núcleos muy brillantes, su emisión abarca todo el espectro desde radio hasta rayos X. Son objetos que contienen un núcleo activo,





**Figura 2-1:** Diagrama de BPT, donde representan los cocientes de las líneas, para una muestra de 50.000 galaxias utilizando espectros del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). La curva de puntos presenta la división entre las galaxias con nacimientos de formación estelar y con AGNs según la definición de Kewley et al.(2001,[82]). Y la curva de rayas muestra una nueva división realizada por Kauffmann et al.(2003,[74]).

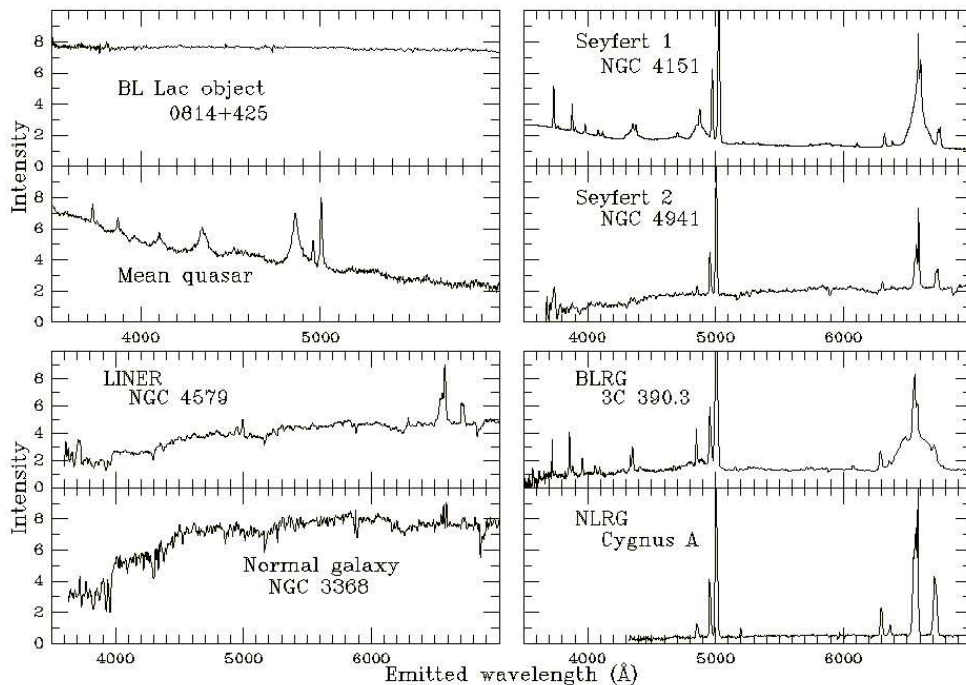
inmerso dentro de su galaxia huésped. La energía radiada por el núcleo en el óptico es del orden a la que emite toda la galaxia ( $\sim 10^{11} L_{\odot}$ ), Ramos-Almeida(2009,[126]).

### Galaxias Seyfert

Las galaxias Seyfert poseen líneas de emisión muy prominentes (permitidas y prohibidas), donde las líneas prohibidas delgadas tienen un ancho de  $\sim < 500$  Km/s y las líneas permitidas delgadas o anchas llegan incluso a unas velocidades de 10.000 Km/s. Su radiación en el continuo contiene pocas líneas de absorción.

Carl Seyfert en el año 1943 clasificó un grupo de galaxias fundamentándose en el brillo superficial de las regiones centrales. Observó que en el óptico muchas de ellas presentaban líneas de alta excitación con los perfiles muy anchos hasta ( $8500 \text{ km s}^{-1}$ ), Seyfert (1943,[143]).

Como se ha venido mencionando anteriormente, las galaxias Seyfert son tipos de galaxias con altas luminosidades y presentan núcleos muy activos hospedados en galaxias cercanas. Sus espectros presentan líneas de emisión potentes, con distinto potencial de ionización y bandas de absorción generadas por estrellas gigante roja.



**Figura 2-2:** Espectros del visible de los AGNs, con una galaxia sin actividad nuclear. En el espectro Seyfert 1, Quasar y BLRG, se evidencian componentes de líneas anchas y no aparecen líneas prohibidas. En las Seyfert 2, NLRG y LINER se observan las líneas delgadas y por último se evidencia el objeto BL Lac en donde presenta ausencia de espectro, Ramos-Almeida(2009,[126]).

Adicionalmente para los AGNs, un ejemplo de la existencia de actividad nuclear lo componen las líneas coronales. Allí denominan transiciones prohibidas con potenciales de ionización mayor a 100eV; este nombre corresponde a que fueron detectadas por primera vez en la corona solar. Aquellas líneas son trazadoras de actividad en el AGN y se detectan en el óptico, más que todo en las líneas de Hierro, y en el infrarrojo se presentan gran variedad como hierro, silicio y azufre. Los espectros de una galaxia normal (no activa), no aparecen estas transiciones tan energéticas, ya que la formación estelar no produce fotones con energía suficiente para que estas se originen a niveles detectable, Ramos-Almeida(2009,[126]). La región en donde se originan las líneas coronales, se estima que se encuentra a cientos de parsecs del AN, pero en el caso de los AGNs oscurecidos, estas transacciones serían difíciles de detectar en el óptico. Siendo así la emisión en el rango del infrarrojo se convierte también en una herramienta clave para el estudio de las características espectrales y constituye un diagnóstico muy fiable en el momento de clasificar e identificar un AGNs, (Prieto & Viegas (2000,[124]); Rodríguez-Ardila et al. (2002,[136]), (2006,[135]);Ramos-Almeida(2009,[126])).

### Seyfert: Tipo 1 y 2

Se clasifican por su espectro de líneas de emisión en Seyfert 1 o Seyfert 2 (Khachikian & Weedman, 1974,[83]). Las galaxias Seyfert 1 (Sy1), muestran altas densidades electrónicas  $n_e \geq 10^9 \text{ cm}^{-3}$  y líneas de emisión anchas permitidas y prohibidas, tienen una anchura de  $\sim 500 \text{ km s}^{-1}$  de ancho y con un continuo no estelar en el óptico, UV y rayos X, (Khachikian & Weedman (1974,[83]; Osterbrock 1989,[160])). En las Seyfert 1 se generan dos tipos de líneas diferentes. Las líneas delgadas genera un gas ionizado con baja densidad ( $n_e \sim 10^3 - 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ) y se conoce como Regiones de Líneas Delgadas (NLR) y las líneas anchas producen un gas de alta densidad siendo ópticamente grueso ( $n_e \sim 10^9 \text{ cm}^{-3}$ ) estas son conocidas como Regiones de Líneas Anchas (BLR), donde los choques eliminan las transiciones prohibidas.

Las nubes de la BLR es un mecanismo el cual se encuentra más proximo en la parte central del AGN que las de la NLR y presentan variabilidad de las líneas generadas. Las líneas de la NLR no muestra variabilidad y el parámetro de ionización es altamente menor, Ramos-Almeida(2009,[126]).

Las galaxias Seyfert 2 (Sy2), muestran solamente líneas angostas con velocidades del gas entre  $10^2 \text{ km/s}$  y  $10^3 \text{ km/s}$ , su espectro muestra líneas anchas tanto prohibidas como permitidas y genera los mismos anchos típicos que las líneas angostas de las Seyfert 1, mostrando un continuo menos intenso.

### LINERs

Otra componente de los AGNs, pero de baja luminosidad, son las galaxias de líneas de emisión de baja ionización (Low Ionization Narrow Emission Region LINERs, por sus siglas en inglés) quienes presentan líneas de [O I]  $\lambda 6300 \text{ \AA}$  y [N II]  $\lambda 6548 \text{ \AA}$  y  $6583 \text{ \AA}$ , cuyo espectro en el óptico se asemeja en parte al observado en una galaxia tipo Seyfert 2.

El espectro de las LINERs es producido por la fotoionización llevada a cabo por un continuo tipo Seyfert muy diluído. En algunos momentos esas líneas de emisión se pueden explicar por la fotoionización generada por la formación estelar y pueden ser intensas en este tipo de objetos. Por lo tanto las LINERs contienen dos tipos: una en la que algunos presentan actividad nuclear un poco débil en comparación con otros AGNs, y segundo algunos que no incluirían verdaderamente un núcleo activo.

### 2.2.2. Radio Ruidosos

Los Quasares, conforman el grupo de los AGNs ruidosos, particularmente son muy brillantes en el ultravioleta cercano (400-15 nm) (Khachikian & Weedman (1974,[83])). Por sus características en la emisión, se tiene en primer lugar a los Blazares, los cuales se clasifican como: Variables Ópticamente Violentos (OVV por sus siglas en ingles) y los BL Lacertae. Los espectros para estos objetos son típicamente planos, es decir ausencia casi total de líneas de emisión y de absorción, como se puede observar en la (Figura 2-2).

En segundo lugar se encuentran las Radiogalaxias, las cuales son fuentes muy poderosas en radio, donde existen dos tipos de estos objetos: Radiogalaxias de líneas anchas (BLRG por sus siglas en ingles) las cuales exhiben espectros ópticos similares a las galaxias tipo Seyfert 1, y Radiogalaxias de líneas delgadas (NLRG, por sus siglas en ingles), que son objetos cuyos espectros se asemejan a las de tipo Seyfert 2, es decir solo presentan líneas delgadas.

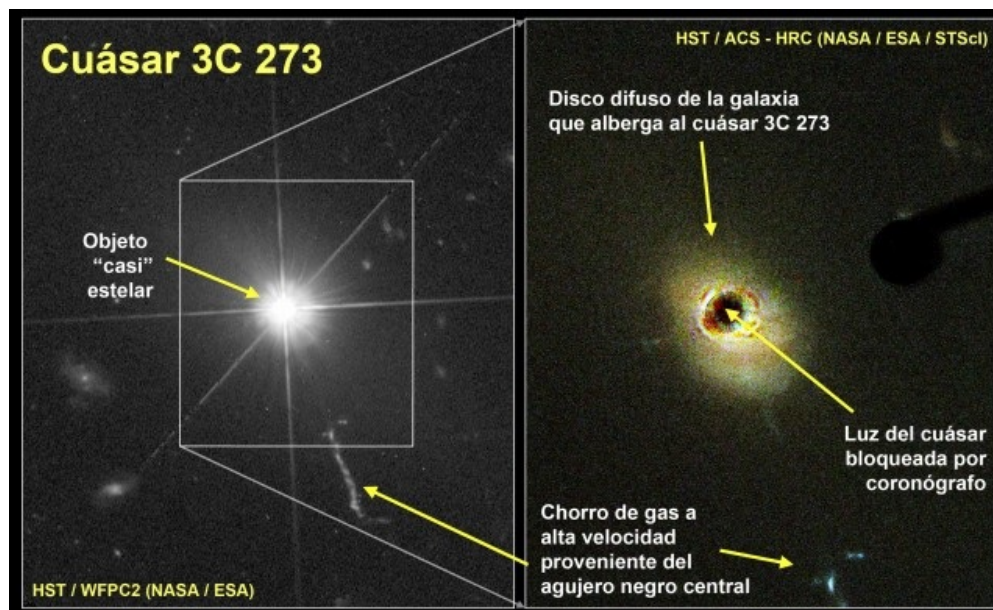
#### Quasares

Los Quasares fueron reconocidos o descubiertos en el año 1963, y se caracterizan por imágenes débiles evidenciando un aspecto puntual (como una estrella) y muestra un espectro muy característico de líneas de emisión anchas con un continuo de ley de potencias, estos espectros tienen mucha similitud a una Seyfert 1.

Pertenecen al grupo de AGNs más luminosos, donde su fuente central es cien veces más brillante que la galaxia anfitriona, ya que es muy difícil detectar estos objetos porque son muy lejanos. Los Quasares, son AGNs, donde en general no son resueltos espacialmente, exceptuando a los objetos relativamente cercanos. Sus desplazamientos al rojo son muy altos hasta llegar a ( $z=8$ ). Siendo así los Quasares contienen unas características morfológicas especiales como fuentes de emisión detectadas en el óptico (3C273;Lelievre et al (1984,[94])) Como se puede evidenciar en la (Figura 2-3).

#### Blazares

Un sub-grupo dentro de los Quasares son los conocidos Blazares, los cuales se clasifican: Variables Ópticamente Violentos (OVV por sus siglas en ingles), son como los BL Lac pero con líneas anchas más intensas y más brillantes, lo que permite detectarlos a más alto redshift. Los BL Lacertae no tiene prácticamente líneas de emisión o incluso están ausentes y se detectan que están a un bajo redshift como se muestra en la (Figura 2-2). Los espectros para estos objetos son típicamente planos, es decir ausencia casi total de líneas de emisión y de absorción.



**Figura 2-3:** El Quáasar 3C273 observado con el Telescopio Espacial Hubble. En la imagen de la izquierda muestra lo brillante y compácto que es el objeto, lo cual parece que fuera una estrella. El proceso que se realizó con la imagen del lado izquierdo, se utilizó un istrumento llamado (coronógrafo), el cual hace un bloqueo a la luz del Quáasar dejando ver la galaxia anfitrión. En ambas imagenes se aprecian chorro de gas con altas velocidades que provienen de un agujero negro super masivo central. Crédito de Imagen: HST/NASA/ESA/STScI.

## Radio Galaxias

Las Radio Galaxias son otros tipos de AGNs que fueron descubiertas al llevarse a cabo observaciones en radio, estas emisiones suelen centrarse en el núcleo, lóbulos y los jets alejados del objeto central.

Estas fuentes son muy intensas y por lo general se encuentran alojadas en galaxias elípticas gigantes o en algunos casos se pueden asociar a los Quasares. No todas son AGNs pero en las que se detectan actividad nuclear se dividen en dos tipos según su espectro en el óptico: BLRGs (Broad-line Radio Galaxies, por sus siglas en inglés) las cuales exhiben espectros ópticos similares a las galaxias tipo Seyfert 1, es decir presentan ensanchamiento de las líneas de recombinación del Hidrógeno, acompañadas de líneas de baja probabilidad de algunas especies ionizadas y NLRG (Narrow-line Radio Galaxies, por sus siglas en inglés) que son objetos cuyos espectros se asemejan a las de tipo Seyfert 2, es decir solo presentan líneas

delgadas y muestran una importante emisión en rayos-X, como se muestra en la (Figura 2-2).

## 2.3. AGNs activos en el infrarrojo

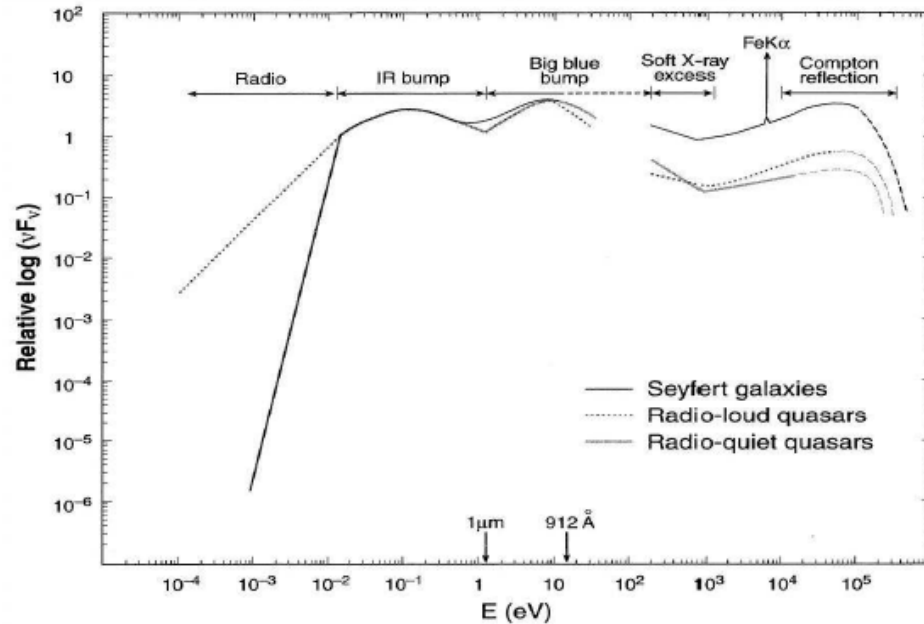
En el estudio de los AGNs, es importante no solo tener en cuenta las emisiones de alta energía: rayos X, UV y óptico, sino también las emisiones en el infrarrojo (IR). Esta región del espectro IR empezó a desarrollarse más lentamente, dado a que la reciente aparición de los detectores en el infrarrojo, dió continuidad en la observación de AGNs en este rango, ¿Porqué es importante el estudio del infrarrojo y la determinación de los AGNs? Esto es el modelo unificado, Antonucci (1993,[9]); Urry & Padovani (1995,[157]), anuncia la existencia de una estructura de un toroide de polvo y gas ópticamente grueso y explica la carencia de líneas anchas en el espectro de los AGNs tipo Seyfer 2. En esa parte del modelo unificado procesa la radiación de alta energía emitida por el núcleo activo reemitiendola en el infrarrojo. Siendo así este rango del espectro es un desarrollo el cual ayuda a estudiar las propiedades de este tipo de estructuras.

Las emisiones térmicas que son procesadas por el polvo, establece la principal fuente en el continuo en el MIR (7-26  $\mu\text{m}$ ) y establece una aportación importante al NIR desde ( $\sim 2\mu\text{m}$ ) en las galaxias activas.

El estudio de la SED de los AGNs en el infrarrojo y de como es el proceso fundamental para entender el mecanismo que dan lugar a una alta emisión de los AGNs en este rango, tiene un origen en la radiación óptica/UV reprocesada por el polvo, dependiendo de la distribución de temperaturas de ( $\leq 1500\text{K}$ ). En el rango de  $1\mu\text{m}$  y se establece un mínimo en la emisión del continuo, Rudy et al (2000,[139]), (2001,[138]); Rodriguez-Ardila et al (2002,[136]). Esto probablemente corresponde al aumento, en una finalización de la ley de potencias que especifica el perfil del continuo del AGN en el óptico y el inicio de la emisión reprocesada por el polvo, Rudy et al (2000,[139]). Esto se establece explícitamente en los AGNs tipo 1 y no tanto en las de tipo 2, Riffel et al (2006,[132]), como se evidencia en la (Figura 2-4).

### 2.3.1. Radiación en el infrarrojo en Galaxias Seyfert

La Distribución de Energía Espectral (SED) de las galaxias Seyfert, evidencian una abundancia en la emisión infrarroja, siendo una característica principal de los AGNs, Koratkar & Blaes (1999,[86]), nacido de la absorción y luego de la reemisión de los fotones proveniente del óptico y ultravioleta por los granos de polvo molecular que constituye el toro del modelo unificado. EL espectro del óptico está controlado por un continuo, con alta energía y líneas de emisión, y con un gran rango de ionización (conteniendo líneas prohibidas con alta excita-



**Figura 2-4:** Los SEDs son patrones de multifrecuencias, donde en la imagen se evidencia: QSO Radio Ruidoso son las líneas de puntos, los QSO Radio Silenciosos, es la línea continua, galaxias Seyfert, es la línea continua negra. Donde a partir de  $1\mu\text{m}$  y en longitudes de ondas muy amplias, aparece abundancia de infrarrojo, el cual es característico de estos objetos, así como exceso en el azul, que está directamente relacionado con el mecanismo de elaboración de energía del AGN y la acreción del material sobre el AN central, imagen tomada de Koratkar & Blaes (1999,[86])

ción), por lo tanto se observan bandas de PAHs y de silicatos.

La emisión en el infrarrojo se debe a que gran parte es proveniente del polvo, Rieke & Lebofsky (1981,[131]); Edelson & Malkán (1986,[40]); Alonso-Herrero et al (2003,[7]), cada vez que nos desplazamos hacia longitudes de ondas más rojas ( $\lambda > 20\mu\text{m}$ ) este polvo frío, empieza siendo aportación dominante en el espectro y de inmediato es calentado por la formación estelar. Otra de las características en la emisión en el infrarrojo en las galaxias Seyfert, es que resulta ser un estudio amplio, ya que se detectan varias decenas de parsecs desde el núcleo, y da continuidad a una gran parte de la NLR. Esta emisión extensa en la NLR denominada ENLR, se le asigna un gas interestelar ubicado a unos kiloparsecs centrales de las galaxias anfitrionas y que se encuentra ionizado por el núcleo activo.

Las galaxias Seyfert 2 en el espectro NIR puede generar una combinación de espectros estela-

res y un factor de cuerpo negro, el cual es producido por el polvo caliente, (Rodríguez-Ardila et al (2005,[136]); Glikman et al (2006,[54]); Rodríguez-Ardila & Mazzalay (2006,[134]); Ramos-Almeida (2009,[126])). En las Seyfert 1 el espectro NIR contribuye también un continuo tipo ley de potencias donde se evidencia una emisión directa del núcleo activo y también de las emisiones internas del toro donde son mucho más planos que los de la Seyfert 2, tomando como referencia al modelo unificado, Alonso-Herrero et al (2001,[8]); Riffel et al (2006,[132]), donde no existe una división tan fuerte como el modelo unificado clásico, Pier & Krolik (1992,[119]),(1993,[120]); Granato & Danese (1994,[57]); Ramos-Almeida (2009,[126]).

### **Infrarrojo Cercano (NIR)**

En el NIR, su desarrollo es ionizante y es asociado al núcleo activo. El cual es descrito por una ley de potencias, donde a partir de  $\sim 2\mu\text{m}$  se incorpora y se convierte en una fuente principal del MIR, el cual es un factor asociado a la emisión de polvo en altas temperaturas (1000-12000 K). Solo esto viene siendo válido para AGNs de tipo 1, con una gran luminosidad como por ejemplo los Cuasares e inclusive en las galaxias Seyfert 1 donde en el NIR la componente de ley de potencia no es tan importante como si lo es en el óptico o en el UV, (Kishimoto et al (2005,[84]); Riffel et al (2006,[132]) y en las Seyfert 2 no hay existencia en ellas (Riffel et al (2006,[132]); Ramos-Almeida et al (2009b,[127])).

### **Infrarrojo Medio (MIR)**

La emisión del continuo en el MIR es debido a la reemisión del polvo tenue ( $< 1000\text{K}$ ) a las que se superponen las bandas de emisión de PAHs y de absorción o emisión de silicatos. Clavel et al (2000,[29]), el realizó un análisis de espectros de baja resolución en el MIR, datos tomados del instrumento ISOHOT con el satélite espacial ISO. Realizó una muestra de 57 galaxias Seyfert tipo 1 y tipo 2 ; las Seyfert 1 se representan por un continuo en el MIR, con un fuerte tipo ley de potencia evidenciando PAHs muy débiles, mientras que las Seyfert 2 representan un continuo en el MIR más débiles y con bandas de emisión en los PAHs muy fuertes.

Por otro lado la luminosidad de las bandas de los PAHs es igual para los dos tipos de Seyfert, mientras el continuo centrado en  $7\mu\text{m}$  es un promedio de  $\sim 8$  veces mucho más luminoso en las Seyfert 1 y 2, Clavel et al (2000,[29]). Estos resultados concuerdan con un esquema de modelo unificado, lo cual establece que la parte responsable de la emisión de los PAHs no se relaciona con el AGN. Ellas se generan en la parte de la fotodisociación y se encuentran ubicadas entre la región H II y el gas de la formación estelar son ilustres en galaxias normales ( Boulade et al (1996,[18]); Metcalfe et a (1996,[105]); Vigroux et al (1996,[162]); Xu et al (1998,[168])), donde afirman que estas bandas de PAHs observadas de los AGNs



deben producirse de un medio interestelar en galaxia anfitrionas específicamente en la parte del bulbo galáctico.

Estos silicatos se encuentran más eminentes entre 10 y 18  $\mu\text{m}$  y se observan por lo general en las emisiones de los Cuasares y en emisiones de absorción en las ULIRGs y Seyfert. La banda más fuerte es en 10 $\mu\text{m}$ , donde se origina un modo de estiramiento de moléculas de SiO, y desde 18 $\mu\text{m}$  se genera un modelo de doblamiento, Knacke & Thomson (1973,[85]), las regiones de donde proviene el polvo caliente, y ópticamente delgado explica estas bandas de emisión. Mientras que el polvo sea más frío genera unas bandas de absorción, donde la presencia de un toro homogéneo ocasiona fuertes bandas de silicatos de emisión para la posición tipo 1, debido a estas observaciones de capas más internas de la estructura del toro, ocasionan un calentamiento con profundas absorciones en el MIR de los AGNs tipo 2, donde allí solo, se observan capas muy externas y frías del toro, Ramos- Almeida (2009,[126]).

En general las galaxias Seyfer 2 generan absorción de silicatos poco intensos, a comparación con espectros de ULIRGs, Levenson et al (2007,[95]). Esta característica espectral no solo se asocia a un polvo que proviene del toro, si no que lo produce un material que pertenecen a estructuras mayores a la galaxia, Maiolino & Rieke (1995,[101]) o inclusive de la NLR (Manson et al (2009,[102]); Ramos- Almeida (2009,[126])).

### **Infrarrojo Lejano (FIR)**

Los instrumentos han desarrollado estudios de observaciones más allá de  $\sim 20\mu\text{m}$  que dieron lugar a los primeros trabajos realizados con datos de Kuiper Airborne Observatory (KAO). Este estudio manifestó la importancia de este rango espectral a la hora de poder cuantificar la luminosidad bolométrica del AGN en particular las de las Seyferts, Ramos-Almeida (2009,[126]).

Se han realizado estudios con datos de IRAS con galaxias activas y que direccionaron un inicio térmico de la emisión, Bonatto & Pastoriza (1997,[17]) hallaron que los colores obtenidos con los flujos de IRAS para una muestra de galaxias Seyfert se pueden explicar por una combinación de polvo, calentado por el núcleo activo y el polvo frío de la galaxia huésped (50 K; FIR).

Perez García et al (1998,[115]);(2001,[114]), modelan SEDs en un grupo de cien galaxias Seyfert obtenidas del satélite ISO dando como origen las componentes térmicas, una de las primeras es una componente tenue de  $\sim 150$  K que es calentado por el AGN, donde se tiene un polvo que se encuentra asociado en las regiones de formación estelar, con una temperatura de 40 y 50 K, también se tiene un polvo muy frío entre 10 y 20 K en donde es calentado por

un campo de radiación del medio interestelar, Ramos-Almeida (2009,[126]).

Concluyendo, el rango en el infrarrojo es de importancia para el estudio de los AGNs ya que están en la parte local con un desplazamiento al rojo muy alto, y es capaz de poner limitaciones al modelo unificado ya que las emisión proveniente del polvo, se asocian al toro, donde hace que la mayor parte se solidifique en esa región del espectro, Ramos-Almeida (2009,[126]).

## 2.4. Modelo Unificado: Los AGNs

Este modelo fue generado por Miller & Antonucci (1983,[106]), y explica la desigualdad observadas en los espectros de los distintos tipos de galaxias activas. Esta explicación se empezó a estudiar debido a que se encontró ausencia de líneas anchas en un espectro de AGNs tipo 2, donde se estableció que esta galaxia faltaba de BLR (Osterbrock & Koski (1976,[111])). El descubrimiento de las líneas anchas en el espectro de luz polarizada de la galaxia Seyfert 2 (NGC 1068) Miller & Antonucci (1983,[106]); Antonucci & Miller (1985,[11]), generó cambios y estableció la base actual de los modelos unificados, donde se explicó la ausencia de líneas anchas en los espectros de AGNs tipo 2, debido a efectos de la orientación correspondiente a la línea de la visión. Propiamente este mismo tipo también sería para objetos de tipo 1, pero las observaciones son con inclinaciones distintas.

Este modelo unificado, en su centro del AGNs contiene a un AN central con una masa que varía de  $10^6$  y  $10^8 M_{\odot}$  y se encuentran rodeado por un disco de acreción. Esta energía es producida por la acreción en un potencial gravitacional, donde el disco se encuentra a una temperatura hasta  $10^5$  K y genera una emisión en el óptico, UV siendo particular en los AGNs. En el AN y el disco de acreción se encuentra rodeado por una nube de la BLR, parte donde se origina las líneas anchas y tienen un movimiento muy rápido debido a la cercanía del mecanismo central del (AN). Y por último a una distancia más grande y con un movimiento más lento, se encuentra ubicado la NLR, el cual genera un espectro de líneas delgadas.

La representación más importante del modelo unificado es el toro de polvo ópticamente grueso que se encuentra situado entre la BLR y NLR, que imposibilita la visión de la BLR y el mecanismo centrado que da determinación para las orientaciones.

En los AGNs tipo 1 tienen una orientación que ayuda a tener una visión directa de la BLR y el mecanismo que se genera en el centro del AGN, donde son responsables de emisión fuerte en el continuo desde el óptico, UV hasta los rayos X, y los AGNs tipo 2 contienen una inclinación el cual impiden la observación de las regiones de líneas anchas que se encuentran ocultas por el toro, Antonucci (1993,[10]).

Existen observaciones que apoyan el modelo unificado para las galaxias Seyfert, como en los rayos X que se evidencian en la Seyfert 2, estas radiaciones son opacas a la dispersión Compton, esto consiste en la radiación nuclear que es absorbida por material cuya densidad de columna es  $> 10^{24} \text{ cm}^{-2}$  (Maiolino et al (1998,[101]); Ramos- Almeida (2009,[126])). Esta gran absorción en el espectro de rayos X en la Seyfert 2 en comparación con las Seyfert 1, apoya a una hipótesis de oscurecimiento en una estructura bloqueada, estos ejemplos lo que indica es que posteriormente atribuye a la absorción de rayos X, por la existencia de polvo libre no perteneciente al toro, (Granato et al (1997,[57]); Ramos- Almeida (2009,[126])).

### 2.4.1. Componentes del modelo unificado para AGNs

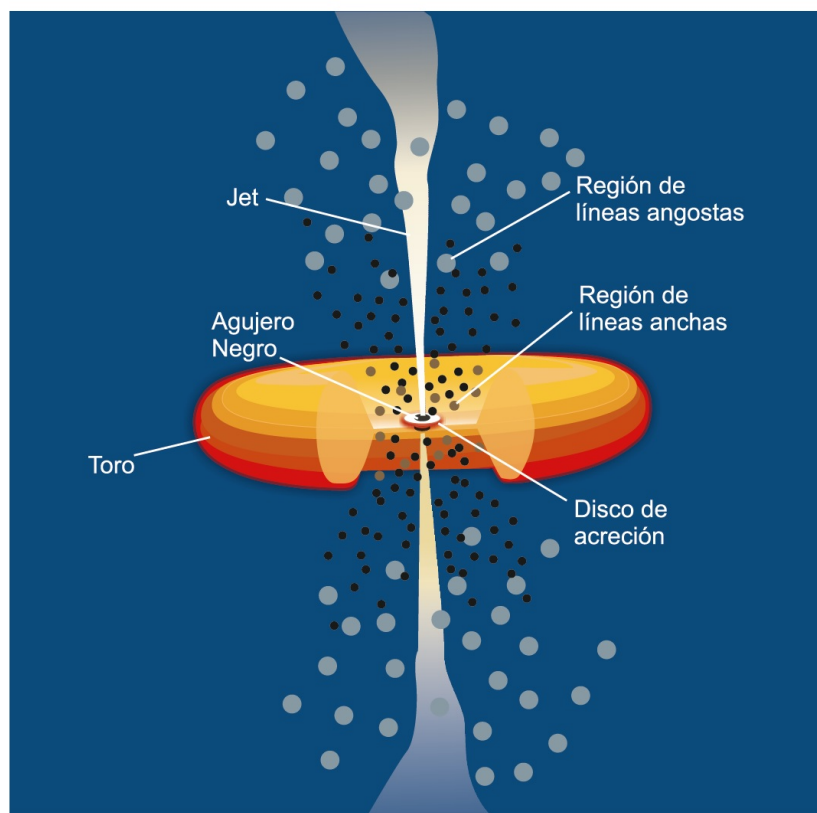
La estructura interna del AGN está determinada por el denominado modelo unificado y contiene las siguientes componentes: un Jet (en el caso de AGNs ruidosos), la zona más externa denominada región de líneas delgadas (NLR, por sus siglas en inglés), la región del toro molecular, la región de líneas anchas (BLR), el disco de acreción y finalmente el agujero negro súper masivo. Algunas características de los AGNs pueden parecer diferentes, asociadas a la orientación del AGN con respecto al observador (Cepa et al. 2009,[25]). (Figura 2-5)

## Agujeros Negros super masivos

La masa de la fuente central se obtiene utilizando el criterio del teorema del virial  $M \sim v^2 r / G$ , para los objetos tipo 1. La velocidad de dispersión del gas  $v$  se obtiene del ancho de las líneas de emisión, mientras que la distancia  $r$  al centro de las nubes emisoras se obtiene de la determinación de los tiempos de reverberación. Para AGNs tipo 2, la masa se obtiene haciendo uso de la dispersión de velocidades estelares. Los valores de la masa central tienen como límite inferior  $\sim 10^6 M_\odot$  y pueden alcanzar una cota superior de  $10^{10} M_\odot$ .

## El disco de acreción

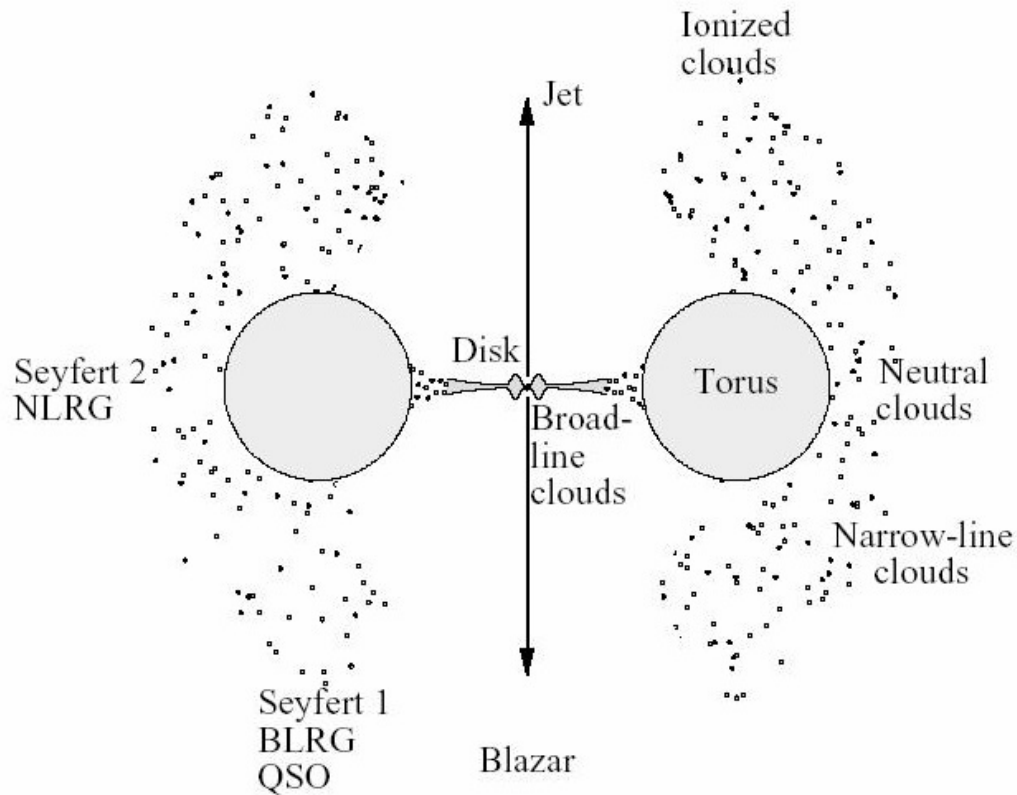
Es la estructura en forma de disco más cercana y circundante del objeto central masivo. El disco alimenta al agujero negro contribuyendo a su aumento de masa. La dinámica de estos objetos está gobernada principalmente por la conservación del momento angular y se extiende sobre el plano del núcleo activo. La masa de este disco es del orden de  $10^8 M_\odot$  y tiene una temperatura alrededor de  $6,2 \times 10^5 \text{ K}$ , con un pico de emisión de fotones cuya energía está alrededor de 100eV. (Peterson 1997,[117])



**Figura 2-5:** Estructura básica de un AGN. En su centro se encuentra el agujero negro súper masivo. A una distancia del orden de  $10^{-3}$  se encuentra el disco de acreción, la BLR se encuentra a una distancia de la fuente central entre 0.01-1 pc, el toro se encuentra a una distancia superior a 1-10 pc y la NLR se encuentra a una distancia entre 100-1000 pc. Dependiendo de la característica de emisiones en radio el AGN puede tener un jet cuyo tamaño puede alcanzar distancias que corresponden a una buena fracción del tamaño de la galaxia huésped.

## Regiones de líneas anchas

Es la región emisora, a una escala menor de 1 pc, que sigue en proximidad a la fuente central, después del disco de acreción. Su característica fundamental es la presencia de líneas que contienen anchos equivalentes que varían entre 2000 km/s y 15000 km/s. Existen líneas fuertes en la serie de Balmer ( $H_\alpha$  ( $\lambda 6563\text{\AA}$ ),  $H_\beta$  ( $\lambda 4861\text{\AA}$ ),  $H_\gamma$  ( $\lambda 4340\text{\AA}$ ), líneas de la serie de Lyman ( $Ly\alpha$  ( $\lambda 1216\text{\AA}$ ), entre otras y las líneas de los iones Mg II ( $\lambda 2798\text{\AA}$ ), [CIII] ( $\lambda 1909\text{\AA}$ ) y C IV ( $\lambda 1549\text{\AA}$ ). La estructura de la BLR no se resuelve ópticamente con ningún telescopio; sin embargo, su tamaño y forma se puede obtener de la observación de la variación de las líneas de emisión como respuesta a las variaciones del continuo. La luminosidad de la BLR es de  $10^{42}$  ergs  $s^{-1}$  en la línea de [CIV], y su tamaño es del orden de  $10^4$  UA (Cepa et al.



**Figura 2-6:** Explicación del tipo Seyfert 1 y 2 a partir del modelo del Toro del gas y polvo alrededor de las líneas anchas, (Carroll & Ostile (1996,[112]) ).

2009,[25]), donde se explicará a profundidad en la sesión 2.8.

## Región toroidal

La hipótesis de una región de polvo que rodea los AGNs proviene del trabajo de Donald Osterbrock quien, en 1978 sugirió, que las galaxias Seyfert 1 y 2 son, en esencia, las mismas Seyfert y que la existencia del toroide provee un obscurecimiento anisotrópico de la emisión central. En un trabajo polarimétrico alrededor de la Seyfert 2, NGC 1068, Antonucci R., y Miller J. (1985,[9]) encontraron la aparición de líneas anchas, típicas a las encontradas en las Seyfert 1, confirmando la presencia de una región molecular toroidal y dando un entorno único de descripción al modelo unificado del AGN. (Figura 2-6)

## Regiones de líneas angostas

Los anchos de las líneas emitidas por la NLR llegan a algunos cientos de km/seg. Modelos de fotoionización estiman, para esta región, densidades electrónicas en un rango comprendido entre  $10^3 < N_e < 10^6 \text{ cm}^{-3}$  (Wilkes 1999,[166]). Las nubes de la NLR se encuentran a una distancia mayor de la fuente central, su tamaño puede estar comprendido entre 100 pc hasta 1000 pc. Estas dimensiones han sido confirmadas a partir de imágenes directas de algunas Seyfert cercanas (Macchetto et al. 1994,[24]; Bower et al. 1995,[19]).

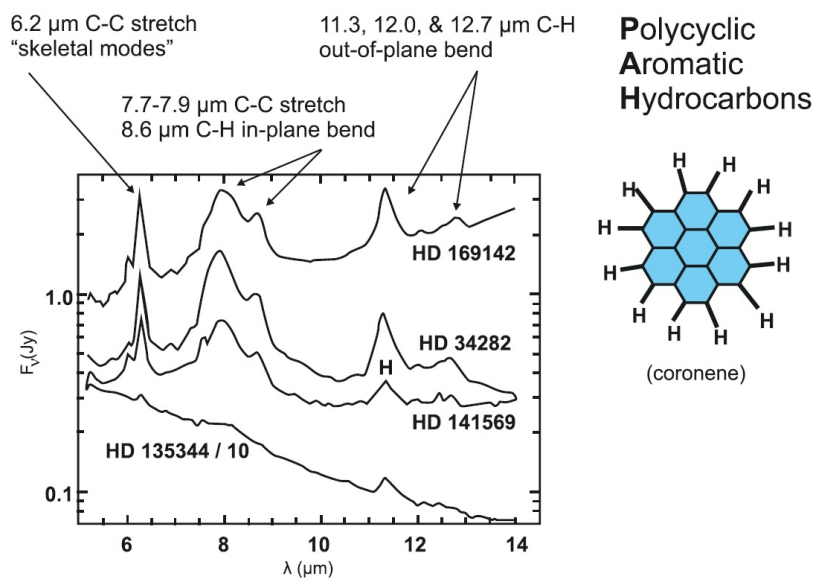
### 2.5. Emisiones de PAHs

Gillett et al (1973,[53]), descubrieron bandas infrarrojas, que más adelante se identificaron como asociadas a Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)) (Leger & Puget 1984,[92] y Allamandola et al 1985,[5]). Los PAHs son compuestos orgánicos que se encuentran abundantemente en el medio interestelar (ISM) y en la mayoría de las galaxias, cometas, meteoritos y en la Tierra. Las bandas de emisión de PAH corresponden a 3,  $3\mu\text{m}$ , 6,  $2\mu\text{m}$ , 7,  $7\mu\text{m}$ , 8,  $6\mu\text{m}$ , y 11,  $3\mu\text{m}$ . Estas emisiones están asociadas a modos de vibración en los enlaces carbono carbono (C-C), y carbono hidrógeno (C-H) ( Allamandola et al. 1989,[3]). La bandas de 6,  $2\mu\text{m}$ , 7,  $7\mu\text{m}$  y 11,  $3\mu\text{m}$ , se utilizan frecuentemente para caracterizar las emisiones de PAHs en galaxias infrarrojas. (Fischer 1999,[45], Spoon et al. 2007,[148]).

Las bandas de emisión de 6,  $2\mu\text{m}$  y 7,  $7\mu\text{m}$  se identifican con las oscilaciones de los átomos de carbono C-C (Allamandola et al. 1989,[3]). La emisión en 8,  $6\mu\text{m}$  contiene un modo de vibración de duplicidad en el plano del enlace C-H (Allamandola et al. 1989,[3]). Una de las bandas de emisión más fuertes de PAHs es la de C-H fuera de un plano, asociada a ella está el flujo en 11,  $3\mu\text{m}$ . (Figura 2.8). Los cocientes entre esta emisión y las demás bandas de los PAHs son muy buenos indicadores del grado de extinción de las regiones emisoras (Hernan Antonio 2008,[22]). Los granos de PAH poseen estructuras que van desde cadenas compuestas por 100 átomos hasta granos de carbono amorfo de tamaños micrométricos (Puget et al. 1985,[125]). La emisión de PAH proveniente de una Galaxia puede usarse para trazar la cantidad relativa de formación de estrellas (Meléndez et al. 2008,[103]).

Los AGNs emiten una alta componente de UV en su espectro de radiación, responsable de los modos de vibración de las moléculas de PAHs, sin embargo fotones ionizantes con energías superiores a ( $> 13,6 \text{ eV}$ ) rompen los enlaces de estas moléculas a menos que estén protegidas por una pared gruesa de polvo (Hernan Antonio, 2008,[22]).

La actividad de formación estelar da lugar a la formación de estrellas tipo O y B. Estas estrellas ionizan el gas formando regiones de HII, las cuales se van extendiendo en función



**Figura 2-7:** G.C Sloan et al (2005) Espectros en el infrarrojo medio de la emisión de PAH en estrellas tipo Herbig AeBe

del aumento de la emisión en el UV. En la parte interna de la región H II, los fotones más energéticos alcanzan a destruir las moléculas de PAHs, pero en la zona comprendida entre la región H II y el gas aún no ionizado de la nube, se encuentra una región de fotodisociación (PDR) en donde se producen las bandas de PAHs.

Los espectros tomados por el telescopio Spitzer de AGNs muestran fuertes contribuciones de líneas en 3, 3, 6, 2, 7, 7, 11, 3 y 17  $\mu\text{m}$ , que provienen de los cationes de los PAHs (Allamandola et al. 1999,[4], Draine y Lie 2001,[39]).

### 2.5.1. Características de los PAHs

Los PAHs son un compuesto orgánico los cuales se componen de anillos aromáticos y son candidatos a moléculas básicas que dan origen a la vida. Estas regiones nucleare o circum-nucleares se estudian de dos fuentes importantes en los AGNs:

- La emisión que procede del disco de acreción va a excitar e ionizar los átomos y moléculas del material que está más cercano al agujero negro, este proceso da parte a las zonas de fotoionización por los Rayos X (XDRs).
- Existen zonas con grandes actividades estelares que dan parte a zonas de fotoionización por emisiones ultravioleta (PDRs), estas se determinan con observaciones en bandas submilimétricas llevadas a zonas de formación estelar Feigelson (2001,[43]).

## 2.6. Tasa de Formación Estelar (SFR)

Una de las características más reconocibles de las galaxias a lo largo de la secuencia de Hubble, en un gran amplio rango es la parte estelar y la actividad de formación estelar. En esta variación la parte del contenido estelar es propia e importante de la clasificación Hubble, Hubble 1926,[65] y comprender su inicio de evolución galáctico en un contexto más amplio.

Las investigaciones de estos contenidos en las galaxias con estrellas jóvenes, dan inicio a los primeros estudios en las regiones estelares desarrolladas por Hubble y Baade, con desarrollo en análisis en el espectro galáctico, por Stebbins, Whitford, Holmberg, Humason, Mayall, Sandage, Morgan y Vaucoulerus.

Los primeros inicios cuantitativos de SFR se modelaron con estudios en evolución en los colores de galaxias (Tinsley 1968,[155]; Searle et al 1973,[142], estudian las tendencias en la SFR y la formación de estrellas a lo largo de una secuencia de Hubble y llevaron a los primeros indicios de la evolución de la SFR. El modelo de galaxias con formación estelar (galaxias azules) por (Bagnuolo et al 1976,[13]; Huchra 1977,[66] y Larson & Tinsley 1978,[91], explicaron la importancia de los estallidos de la formación estelar, en el crecimiento de la galaxia de baja masa y del medio que interactúan. En la siguiente década el campo generó un desarrollo relevante en la SFR, donde se estudiaron procesos más directos y precisos incluidos los flujos de las líneas de emisión integrados (Cohen 1976,[30]), flujos continuos cercanos al Ultravioleta (Donas & Deharveng 1984,[37]), flujos del continuo en el infrarrojo (Harpen & Low 1973,[60]; Rieke & Lebofsky 1978,[130] y Telesco & Harper 1980,[153]), esto ocasionó SFR para grandes galaxias cercanas y fueron interpretadas en términos de propiedades evolutivas de las galaxias de (Kennicutt 1983a,[81]; Gallagher et al 1984,[48] y Sandage 1986,[140]).

El campo de la SFR ha tenido una gran evolución en la última década, y ha tenido dos grandes descubrimientos, uno de ellos fue a mediados de la década 1980, donde una gran población de galaxias estelares ultraluminosas IR por satélites astronómicos (IRAS) identificó Starbursts a partir de estudios relacionados y trabajados realizados desde la tierra, (Rieke & Lebofsky 1979,[130]; Weedman et al 1981,[165]), más sin embargo IRAS evidenció la presencia de objetos más luminosos. También se ha detectado galaxias formadoras de estrellas con un alto desplazamiento al rojo, donde su redshift es de  $z = 3$ , (Steidel et al 1996,[150]; Ellis (1997,[41])). Es posible aplicar estos diagnósticos de SFR cuando están localmente calibrados a galaxias distantes y seguir directamente la evolución de la densidad de SFR en la secuencia de Hubble con un tiempo de regresión cosmológica, Kennicutt (1998,[79]).

La SFR mide con que rapidez evoluciona la formación estelar, donde una de sus funciones importantes es que depende del aumento de gas disponible de una galaxia para ser transformada en una estrella. Para un disco galáctico su cantidad está definida como  $N(M_\nu, t)$



donde el número de estrellas con magnitudes  $M_\nu - \frac{1}{2}$  y  $M_\nu + \frac{1}{2}$  y en un tiempo  $t$  se logra formar una secuencia principal, por lo tanto la SFR será dada por el cambio del tiempo de esta cantidad  $\frac{dN(M_\nu)}{dt}$ . Siendo así, hará una función inicial de masa independiente del tiempo, la tasa de formación estelar es:

$$\frac{dN(M_\nu)}{dt} = \Phi(M_\nu)f(t) \quad (2-1)$$

donde  $\Phi(M_\nu)$  es la función de luminosidad de estrellas formadas y  $f(t)$  es la función de cambio. Cuando  $t = 0$  inicia la formación estelar, esto para el caso galáctico, en el tiempo de formación de la galaxia, y cuando se tiene  $t = 1$  es la época actual en donde la tasa de formación estelar se expresa de la siguiente manera:  $N(M_\nu, 1) = \Phi(M_\nu) \int_0^1 f(t)dt$ , por tal motivo, si se tiene  $\int_0^1 f(t)dt=1$ , entonces  $\Phi(M_\nu)=N(M_\nu, 1)$ , esto quiere decir que la función luminosidad está dada por la cantidad de estrellas desde el inicio que se forma la galaxia hasta el día de hoy, (Schmidt (1982,[146]); Higuera, Armando (2011,[49])).

Los estudios de modelos evolutivos de síntesis estelar se han llevado a cabo por, Searle et al (1973,[142]), donde la actividad de formación en galaxias, en la antigüedad ha sido de  $10^{10}$  años, y se concluye que la SFR, promediada en grandes regiones de una galaxia y en periodos bastante largos de tiempo, es una función que disminuye con el tiempo, y en galaxias diferentes con igual morfología presentan para esta SFR distintos tiempos de decaimientos.

Existen calibraciones de formación estelar a lo largo de las observaciones de estrellas de galaxias, las cuales proporcionan pistas físicas de la naturaleza, y pertenece a la consecuencia de Hubble, esta información es clave en la evolución en las galaxias, Kennicutt (1998,[79]), donde esta información depende de fuentes de varios rangos del continuo (FIR) y también de algunas líneas de emisión  $H_\alpha, H_\beta, P_\alpha, P_\beta, B_r\alpha, B_r\gamma$  y algunas líneas de baja probabilidad como O II.

Cuando se habla de PAHs, poseen un espectro característico de emisión en el infrarrojo con líneas de emisión en: 3.3, 6.2, 7.7, 8.6, y 11.3  $\mu\text{m}$  entre otras. Los PAHs emiten en estas longitudes de ondas cuando son excitados por emisiones del ultravioleta, provenientes principalmente de estrellas muy jóvenes y muy calientes, donde esta SFR en el MIR, han sido estimadas en diferentes trabajos.

Algunas de las calibraciones encontradas en la literatura y usadas en estudios son:

### 2.6.1. Formación de Estrellas en Galaxias

Las observaciones de la SFR en las galaxias y teniendo en cuenta la secuencia de Hubble, generan pistas importantes para la física, que son las pruebas de la historia en la evolución de las galaxias. Esto genera que tenga un enfoque y estudio sobre los patrones generales

de la formación estelar y así comprender un proceso físico que impulsan a esta evolución, Kennicutt (1998,[79]). Por tal motivo se destaca el trabajo de Kennicutt (1998,[79]) donde estudió los métodos diagnósticos utilizados para medir SFR y un conjunto de consistentes calibraciones en ella, donde se explicarán a continuación.

## Contínúo en el Ultravioleta

Uno de los rangos más importantes en longitudes de ondas para  $Ly_\alpha$  es de 1250-2500 Å, pero son bastantes cortos para poder reducir el espectro en ciertas poblaciones estelares más viejas. Aquellas longitudes de ondas no son permitidas para galaxias locales  $z < 0,5$ , pero pueden ser observadas en el espectro de las galaxias que se encuentran a un Redshift  $z \sim 1-5$ . Cuando es detectado continuos en el UV en las galaxias, un gran número de ellas tienen un Redshift de  $z > 3$ , siendo así el telescopio Keck ha demostrado tener un potencial en esas técnicas, (Kennicutt (1998,[79]); Steidel et al (1996,[150])).

Para Slapeter el espectro UV es un compuesto casi plano  $L_\nu$  en un rango de longitudes de ondas de 1500-2800 Å y esto permite expresar la conversión en la siguiente ecuación en un forma muy simple:

$$SFR[M_\odot yr^{-1}] = 1,4 \times 10^{-28} L_\nu (ergs s^{-1} Hz^{-1}) \quad (2-2)$$

La ecuación (2.2) se aplica a galaxias con formación de estrellas continua, en una escala de tiempo de 108 años maso menos. Esta relación en  $SFR/L_\nu$ , es mucho menor en las poblaciones jóvenes (como en galaxias Starburst). Por ejemplo para modelos con estallidos continuos para una población de 9 millones de años, la SFR va a crecer un 57 % más de lo establecido en la ecuación anterior, Leitherer et al (1995b,[93]), cuando se aplican estos métodos, es importante sujetar una calibración de SFR que sea apropiado para la población de interes, Kennicutt (1998,[79]).

## Líneas Combinadas

Para poder calcular el flujo ionizante y la SFR se utiliza un factor de conversión utilizando modelos evolutivos con estrellas de masa  $> 10 M_\odot$  y con vida  $< 20 Myr$ , apoyando significativamente a un flujo integrado ionizado, lo cual proporciona una medida casi instantanea de la SFR. Por lo tanto, estos estudios han proporcionado publicaciones de distintas calibraciones, de diferentes autores. De tal forma que para cantidades solares con masas de  $(0,1-100M_\odot)$  y para IMF, se utilizó las calibraciones establecidas por (Kennicutt et al (1994,[80]) y Kennicutt (1998,[79])), utilizando las siguiente ecuación:

$$SFR[M_\odot yr^{-1}] = 7,9 \times 10^{-42} L(H_\alpha) (ergs s^{-1}) \quad (2-3)$$

esta ecuación se utilizó para la calibración de  $H_\alpha$  y se aproximó a un cálculo para la recombinación, Kennicutt (1998,[79]), por lo tanto se obtiene una calibración más baja de SFR que la utilizada por Kennicutt (1983a,[77]), encontrando una pequeña diferencia en una composición de modelos estelares restablecidos y una diferencia leve en el IMF, Kennicutt et al (1994,[80]).

## Líneas Prohibidas

Las líneas de Balmer, se identifican por tener una SFR muy baja, ya que las líneas de absorción estelar son muy débiles, se influye fuertemente en los flujos de líneas de emisión. Una de las emisiones más fuertes es en el azul [O II]  $\lambda 3227$  (Línea prohibida). Una de las características de esta línea prohibida es que no está directamente acoplada a una luminosidad ionizante, Kennicutt (1998,[79]). Sin embargo se tiene en cuenta que en la línea [O II], empíricamente puede ser calibrada a través de  $H_\alpha$ , como un indicador cuantitativo de SFR. Inclusive esta calibración es alcanzada para análisis de aquellas galaxias que son distantes, donde [O II] puede ser observado hacia afuera generando cambios al rojo de  $z \sim 1,6$  y proporcionando una gran muestra de galaxias frágiles, (Cowie et al (1996,[31]); Ellis (1997,[41]), entre otras referencias).

Estas calibraciones han sido estudiadas y calibradas por Gallagher et al (1989,[47]), prácticamente basado en espectrofotometría, a 75 galaxias de estudio (irregulares, azules) y espectrofotometría integrada a 90 galaxias peculiares y normales, Kennicutt et al (1992a,[78]), cuando ellas pasan en un proceso de calibración IMF y  $H_\alpha$ , las escalas de SFR se retrasan a un valor de 1,57, donde esto genera una diferencia de excitación en la muestra. Este promedio produce una incertidumbre de un rango límite en la línea de emisión en el azul de la galaxia y también una muestra de bastante luminosidad en galaxias espirales e irregulares, Kennicutt (1998,[79]), como se evidencia en la ecuación (2-4) para la calibración en la luminosidad [O II]:

$$SFR[M_\odot yr^{-1}] = (1,4 \pm 0,4) \times 10^{-41} L[OII](ergs s^{-1}) \quad (2-4)$$

Los precedentes de [O II] pueden ser dispuestos a errores de extinción y variación en el gas indefinido. Por lo tanto el gas de esta línea es un gas difuso e ionizado y presenta una alta excitación en el, y se encuentra especialmente en las galaxias Hunter & Gallagert (1990,[68]).

## 2.7. PAHs y Formación Estelar

Existe una presencia de formación estelar en los QSOs, el cual es un tema que ha sido debatido durante los últimos años y se ha generado grandes discusiones uno de ellos fue por Schweitzer et al (2009,[161]). Se detectó del Spitzer (IRS), algunas características de PAHs

en las muestras de QSOs cercanos, donde se explica cierta información de estrellas potentes en estos objetos.

Estos análisis también han demostrado que las emisiones de los QSOs están denominados por la formación de estrellas en el FIR, el cual se correlaciona con la potencia nuclear de un AGN, donde se han generado correlaciones de luminosidad en PAH ( $7.7 \mu\text{m}$ ) Vs la  $L_\lambda$  5100 Å, usando muestras de PAHs de Schweitzer et al (2006,[161]) y unas muestras de datos en el óptico de (Maiolino et al (2007,[101])).

Lutz et al 2007,[97]) también evidencia una correlación de QSOs en el óptico y de formación estelar en una galaxia estudiada, la cual es perfilada por la luminosidad de PAH ( $7.7 \mu\text{m}$ ), donde se han estudiado ciertas propensiones de una mayor actividad estelar en redshift altos. No obstante los resultados de Maiolino et al (2007,[101]), evidencian que la actividad de formación estelar perfilada por la emisión de PAH y la energía del núcleo trazada por  $L_\lambda$ (5100 Å), se saturan con galaxias que tienen un redshift muy alto.

En uno de los trabajos de Maiolino et al (2007,[101]) introduce unas nuevas mediciones, tomando como uso la luminosidad de PAH en  $7.7 \mu\text{m}$ . Lo que hace esta relación, es realizar ciertas combinaciones utilizando la razón de  $L(7.7 \mu\text{m PAH})/L(\text{FIR})$ , sacada de una muestra de QSOs de Schweitzer et al (2006,[161]) con la razón de  $\text{SFR}/L(\text{FIR})$  proporcionada por, Kennicutt (1998,[79]).

$$\text{SFR}[M_\odot \text{yr}^{-1}] = 3,46 \times 10^{-42} L(\text{PAH}_{(7,7\mu\text{m})})[\text{erg s}^{-1}] \quad (2-5)$$

Diamond-Stanic et al (2012,[35]), aborda un estudio de la actividad de formación estelar y su relación con la tasa de acreción del agujero negro donde a continuación se explica sus grandes aportes para el apoyo de esta investigación.

### 2.7.1. Formación de Estrellas en Regiones Circumnucleares

Diamond-Stanic et al (2012,[35]) llevaron un trabajo de mucha importancia e interés en la parte de SFR, donde presentan estimaciones de la tasa de acreción de los agujeros negros y SFR, para una muestra completa de galaxias Seyfert. Estos datos fueron obtenidos por el telescopio Spitzer, donde midió la luminosidad del AGN utilizando líneas de emisión [O IV]  $\lambda$  25.89  $\mu\text{m}$  usando luminosidad PAH en 11.3  $\mu\text{m}$ , siendo una característica importante para la formación de estrellas y la emisión en el continuo ampliada a 24  $\mu\text{m}$ .

Para ciertos autores fueron de suma importancia poder estudiar y hablar de caracterización aromática en el MIR (Peeters et al (2004,[113]); Calzetti et al (2007,[23])), formación estelar

en la línea [Ne II] (Ho & Keto (2007,[64]); Díaz-Santo et al (2010,[36])) y la luminosidad en el continuo de  $24 \mu\text{m}$  (Calzetti et al (2007,[23]); Rieke et al (2009,[52])). Estas luminosidades son trazadoras de SFR para galaxias normales que son formadoras de estrellas. Siendo así alguna de esas galaxias tienen un AGN central, en donde el polvo generado son fotones ionizantes que favorecen significativamente a [Ne II], Brand et al (2006,[20]), se encuentran en los AGNs, son de alta energía y pueden ser más propensos a ser el agente principal de la destrucción de los PAH en las regiones de H II en el MIR, Voit (1992,[163]).

Diamond-Stanic et al (2010,[34]) demostraron que los PAHs en  $11.3 \mu\text{m}$  generan efectos de choque y de resistencia en el AGN, esto ha determinado el trabajo de Melendez et al (2008b,[104]), donde presentaron un método para determinar un nuevo aporte a la formación estelar a [Ne II] para los AGNs, por lo tanto pudieron determinar un ajuste en el PAH en  $11.3 \mu\text{m}$  en la línea de emisión mencionada anteriormente y así lograron estimar la tasa de formación circumnuclear de los AGNs cercanos.

El estimador, derivado en este trabajo, para la tasa de formación estelar con base en las observaciones en  $11.3 \mu\text{m}$  es:

$$SFR[(11,3\mu\text{m}) M_{\odot} \text{ años}^{-1}] = 9,6 \times 10^9 L(11,3\mu\text{m}). \quad (2-6)$$

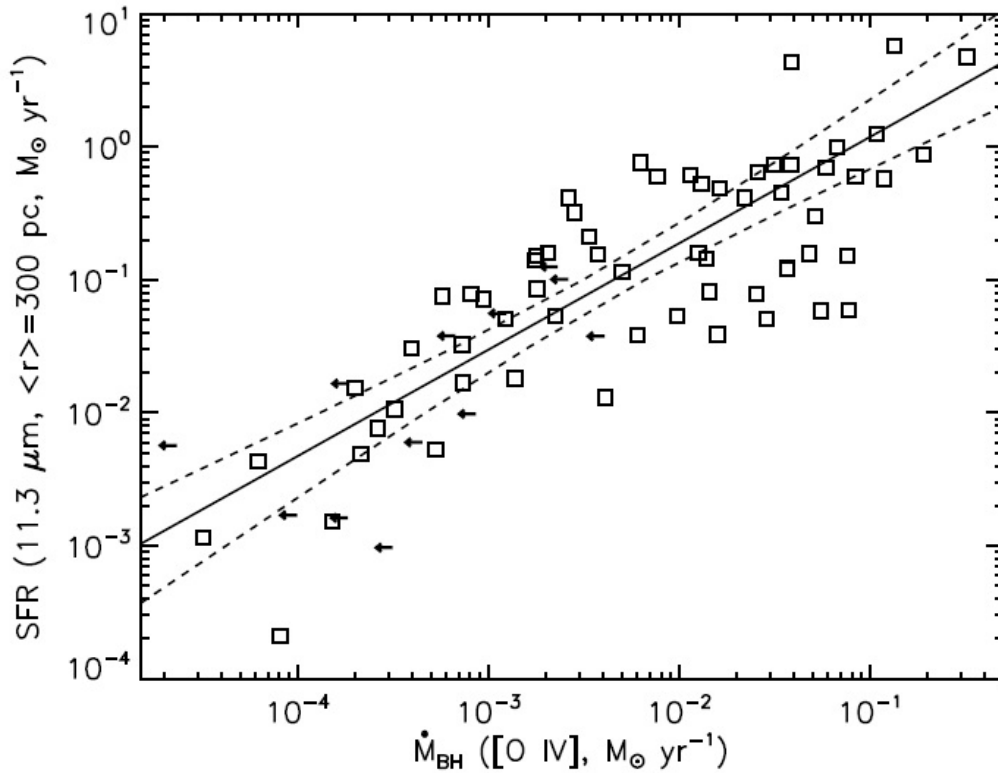
En la (Figura 2.8) se evidencia la relación que hay entre la tasa de acreción del agujero negro (BHAR) en la línea [O IV] y la SFR con el indicador de PAH  $11.3 \mu\text{m}$  donde se observa una fuerte correlación y se establece que la parte circumnuclear de las Seyfert estudiadas son muy grandes y tienden a tener SFR. Para ello se utilizó el método estadístico de Regresión Lineal establecido por Kelly (2007,[76]), donde este método ayudó a cuantificar la relación que hay entre SFR Vs BHAR, Diamond-Stanic et al (2012,[35]).

$$SFR[(11,3\mu\text{m}) M_{\odot} \text{ años}^{-1}] = 7,6_{-3,9}^{+9,8} \left( \frac{\dot{M}_{BH}}{M_{\odot} \text{ años}^{-1}} \right)^{0,80} \quad (2-7)$$

Siendo así esto surge que exista una conexión entre el gas a escalas Sub-Kpc, generando formación de estrellas y crecimiento en el agujero negro, mientras que estos procesos físicos impulsan una relación, como una pérdida de masa en las estrellas y del momento angular de las fuerzas gravitacionales inestables, Diamond-Stanic et al (2012,[35]).

## 2.8. Tamaño de las Regiones de Líneas Anchas

En un AGN muy luminoso la BLR se encuentra aproximadamente entre 0,1-1pc del agujero negro super masivo. Allí las nubes, con altas densidades, están fuertemente atadas a la acción



**Figura 2-8:** La relación que hay entre la SFR y  $\dot{M}_{BH}$  utilizando el indicador de PAHs en  $11,3\mu\text{m}$  y la tasa de acreción trazada en la línea de [O IV] (Diamond-Stanic et al (2012,[35])).

gravitacional. Cuando se tiene nubes con densidades muy altas, en el sistema se encuentra la gravedad que domina totalmete la fuerza de presión en la radiación, de tal manera que la velocidad de las nubes es  $\sim 3000$  km/s Hagain, Netzer (2009,[16]). Una de las características fundamentales de los AGNs, es la variabilidad que presenta las emisiones provenientes del disco de acreción. Estas variaciones se encuentran correlacionadas, con cambios obervados en otras regiones del núcleo activo, como la BLR. Se han llevado a cabo varios estudios para poder seguir estas variaciones y método llamado: Mapeo de Reverberación (RM).

Las propiedades físicas de este proceso producen  $U_{hidrogeno} \sim 10^{-2}$ , esto quiere decir que solo las superficies iluminadas de aquellas nubes están alta mente ionizada. La abundancia de iones en la parte ionizada son: He II-III, O IV-VI, C III,IV y las emisiones más energéticas son:  $H_{\beta}, H_{\alpha}, Ly_{\alpha}, C IV \lambda 1549$  y  $O IV \lambda 1035$ , esta densidad es muy alta para destruir las líneas ópticas prohibidas, pero no todas aquellas líneas están formadas,Hagain, Netzer 1990,[16]).

Una parte de la nube debe ser neutral ya que contiene gran densidad y solo algunos fotones

de Rayos X pueden entrar más allá de  $\sim 10^2 \text{ cm}^{-2}$ , esta parte produce líneas fuertes de H I, Mg II y Fe II, para ello se debe tener en cuenta el orden de magnitud de las líneas de emisión fuerte, y oscilan entre 10-100Å. Se prevee que las líneas de absorción son considerablemente débiles debido a un factor de cobertura, Netzer, H (2013,[109]).

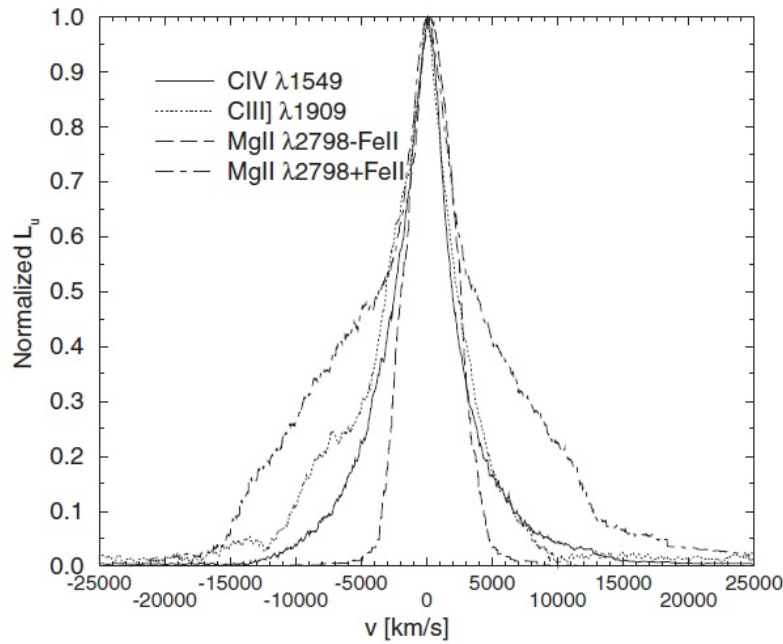
Estos perfiles de líneas requieren una alta densidad de nubes, dada por la velocidad del gas y la nubes en las que están confinadas. En estos procesos se tienen ciertas dudas sobre la perdida de estas nubes y los posibles choques entre ellas. Donde, Una solución es que el movimiento interno de la nube exceda la velocidad del sonido con uno o más ordenes de magnitud, esto ayuda a que la nube obtenga unos perfiles más amplios de una sola nube, Netzer, H (2013,[109]), para este proceso el espectro de las líneas anchas son buenos indicadores de medida de ionización en la BLR.

### Perfiles de la BLR y Mapas de Reverberación

Los AGNs de tipo 1 evidencian algunas diferencias en las luminosidades de continuo, óptico y UV; pasado un tiempo esta afirmación se puede evidenciar sobre la BLR. Estas variaciones se encuentran fuertemente correlacionadas, por lo tanto estas líneas son más fuertes y tenues en la fuente de ionización, generando un calentamiento del gas que proviene del continuo central ionizado. Ese intervalo que hay entre el continuo y la variación de la línea, suministra una estimación simple del tamaño de la BLR. Se han realizado varios estudios para poder seguir estas variaciones a lo largo de meses o años y establecer una información sobre la distribución de ionización y la cinemática del gas, Netzer, H (2013,[109]) y el método utilizado para proceder esta información son los Mapeos de Reverberación (RM).

Este estudio de Mapeos de Reverberación es similar a un efecto Doppler, la idea en el efecto Doppler, es que esta desplazado con un retardo de tiempo de un sistema a una señal de entrada ya conocida, con ello se puede reducir la estructura y la cinemática, en el caso de la BLR, la señal de entrada es generada por el continuo del AGN, donde es considerada la dimensión del disco de acreción (10-100) diametros de radios gravitacionales, Netzer, H (2013,[109]), y se establecen varia suposiciones como:

- El tiempo con el que se desplaza la luz es a través de la BLR, y se encuentran en un rango de días.
- La cinemática y la estructura de la BLR van a ser constantes durante la duración de (RM).
- Hay una relación entre el continuo, UV y óptico, los cuales son observados y el continuo que es ionizado está siendo exitado por las variaciones en las líneas de emisión.



**Figura 2-9:** Comparación de los diferentes perfiles de líneas anchas en un AGN típico tipo 1, Netzer, H (2013,[109]).

Los perfiles de las regiones de líneas anchas o líneas de emisión, por lo general se evidencian en las fuentes de tipo 1, donde las líneas más ionizadas tienden a ser más anchas como: He II  $\lambda 1640$  y O VI  $\lambda 1035$  las cuales son más anchas que las de C IV  $\lambda 1549$  y [C III]  $\lambda 1909$ , todas estas líneas tienen un mayor ensanchamiento que las de Mg II  $\lambda 2798$ . En la figura se evidencia que esto es consistente en una BLR y el parámetro de ionización es mayor a distancias muy pequeñas, Netzer, H (2013,[109]).

Supongamos que la BLR consiste en una nube delgada de capa esférica con un radio  $r$ . Además la curva de luz es una simple explosión en la función delta. Estos fotones fluyen radialmente hacia afuera y después de un tiempo  $\frac{r}{c}$  de estos fotones usan un típico factor de cobertura de un 10%, los cuales son interceptados por nubes de la BLR y son reprocesados en fotones de líneas de emisión, en la fuente central se verá la respuesta de la línea de emisión de toda la BLR en un solo instante con un retraso de  $\frac{2r}{c}$  después del estallido. Sin embargo en cualquier otro punto de ubicación, el tiempo de viaje de la luz y será diferente para cada parte de la BLR, Peterson et al (2004,[116]).

Uno de los trabajos de mayor importancia para el desarrollo de esta investigación fue Kaspi et (2005,[72]) donde correlacionó el tamaño de la BLR en longitudes de ondas en el óptico, UV y Rayos X duros (2-10 keV), este trabajo fue de gran guía para el estudio del tamaño de la BLR como se habló anteriormente, pero aquí específica más el proceso de desarrollo



y al objetivo al que se quería llegar.

Con base a ello es importante discutir sobre las regiones de líneas anchas (BLR), el cual es un factor esencial para este trabajo de investigación y es estimar si hay formación estelar, ya que es un punto muy energético con muy baja posibilidad de la SFR. La BLR se considera una nube de alta densidad situada alrededor de un Agujero Nero (AN). Un AGN muy luminoso se encuentra a una distancia de un Agujero Negro entre 0,1-1pc. Siendo así las nubes pueden sobrevivir durante mucho tiempo ya sean porque se encuentran confinadas o porque son las extensiones de grandes cuerpos autogravitante como las estrellas. Para nubes con altas densidades, el sistema está limitado ya que la gravedad domina completamente la fuerza de presión de radiación. Esto significa que la velocidad kepleriana típica en ese lugar es de  $\sim 3000 \text{ km s}^{-1}$  donde se refleja la anchura de estas líneas emitidas.

Shai Kaspi et al (2005,[72]) realizaron un estudio entre el tamaño característico de la región de línea ancha (BLR) en las líneas de emisión en Balmer, Rayos X duros, UV y óptico, donde se utilizaron las mejores determinaciones de la  $R_{BLR}$  para un gran número de AGNs, Peterson et al (2004,[116]). Para la solides de este trabajo se utilizaron dos métodos estadísticos de regresión y así lograr resultados satisfactorios logrando buenos ajustes, por lo tanto se encontraron pequeñas diferencias sistemáticas en donde dependiendo del método que se utilizó se encontraron resultados consistentes.

El estudio de estos AGNs fue de gran importancia ya que con ellos se utilizó el análisis de un retraso en los tiempos de reverberación de la línea de Balmer el cual es un retardo en reposo como lo explica, Kaspi et al (2000,[73]), este tamaño fue derivado de las tres primeras líneas de Balmer ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  y  $H_\gamma$ ), el promedio y la consistencia entre ellas, se reduce a la dispersión, por tal motivo ellos calcularon la media ponderada del error de la BLR, que fueron derivadas de estas líneas.

Peterson et al (2004,[116]), excluye varios conjuntos de datos en donde determina que FWHM era poco confiable. Donde aclara que no entra los primeros análisis, pero incluyó varios de estos objetos sin su desfase temporal lo cual permitió ser confiable. Determinó que para la galaxia NGC 4051 evidenciada por Shemmer et al (2003,[144]), realizó un análisis donde se halló dos veces: primero, el tamaño promedio de la BLR con la línea Balmer frente a la luminosidad y el segundo el análisis utilizado solo el tamaño de  $H_\beta$ . También fueron excluidos tres objetos PG0844+349, PG1211+143 y NGC4593, porque el tamaño de la BLR están basados en  $H_\beta$  y son considerado poco confiable, Kaspi et al (2005,[72]).

Otros objetos como NGC 3227, NGC4051 y NGC3227 no fueron escogidos ya que son galaxias menos luminosas en toda la banda de longitud de onda, este comportamiento se obtiene por un enrojecimiento de estos objetos, lo que hace disminuir su luminosidad media, Kaspi et

al (2005,[72]). Teniendo en cuenta esto se aplicó a los AGNs con luminosidades en el óptico en ciertos intervalos que son:  $10^{43} < \lambda L_\lambda (5100\text{\AA}) < 10^{46} \text{ ergs s}^{-1}$ .

Estos resultados determinan una ley de potencia, para cada caso en términos de  $A$  y  $B$  de la forma:

$$\frac{R_{BLR}}{10 \text{ días luz}} = AL^B \quad (2-8)$$

En donde  $L$  es la luminosidad normalizada. Los parametro  $A$  y  $B$  son ya dados oor el método FITEXY, como se puede observar en a Tabla (3-2).

Con base a este resultado utilizaron un método de regresión lineal el cual hace ajustar una línea recta a los datos, con errores en ambas coordenadas conocidas como FITEXY, este método se basa en un proceso repetido para minimizar  $X^2$ , Press et al (1992,[123]).

La estimación más exacta e imparcial de la pendiente se obtiene cuando el método de ajuste se incorpora a la varianza residual o también conocida como dispersión intrínseca  $\epsilon_0$ , que es la parte de la varianza que no puede atribuirse a causas específicas, Press et al (1992,[123]). Por lo tanto si la reducción se ajusta a  $X_r^2 = X^2 / (N-2)$  y no es igual a 0 normalizamos incluyedo el valor adecuado de  $\epsilon_0$  en la siguiente ecuación:

$$X_r^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - b - mx_i)^2}{(\Delta y_i)^2 + \epsilon_0 + m^2(\Delta x_i)^2} = 1 \quad (2-9)$$

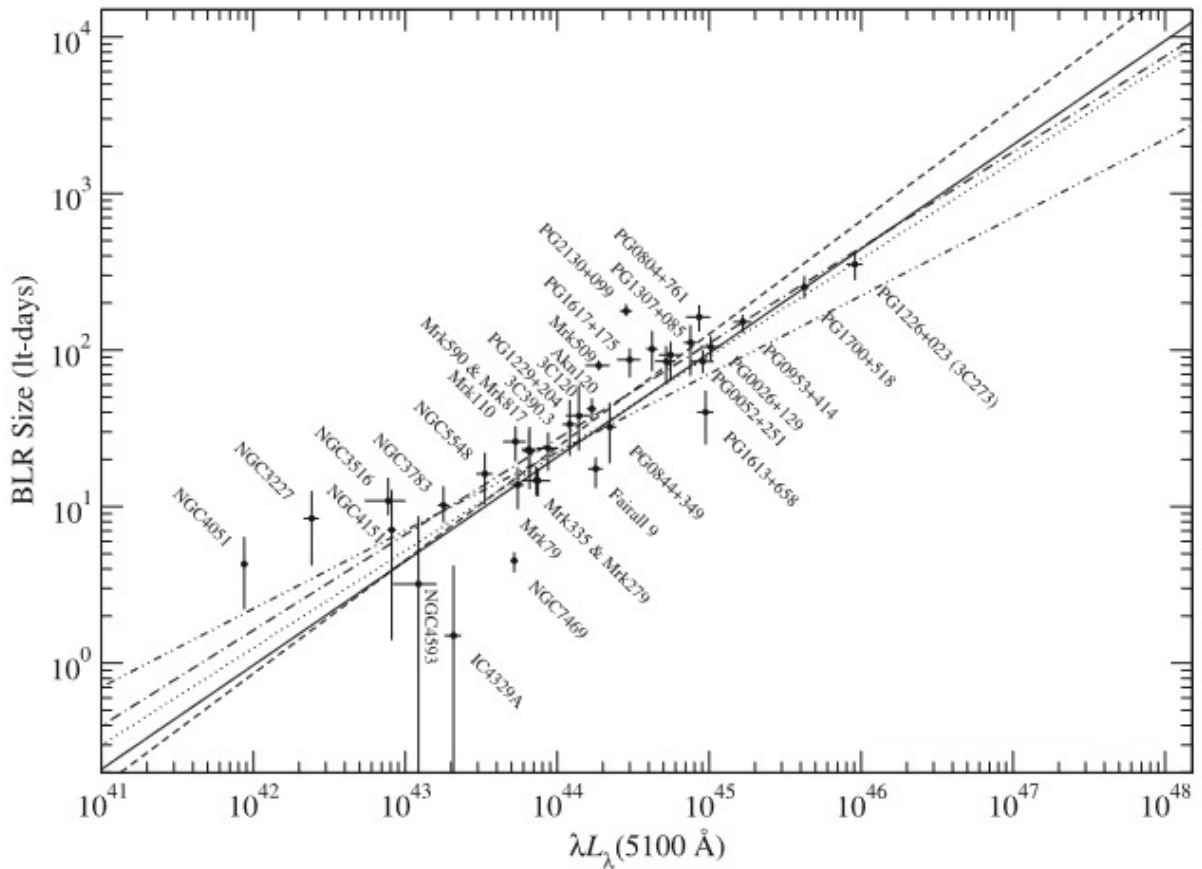
Esto lleva a que es posible obtener una estimación de  $1\sigma$  en  $\epsilon_0$ , dandole un ajuste hasta que  $X_r^2$  es igual a  $1 + (2/N)^{1/2}$ .

Este método de regresión lineal fue modificado por Tremaine et al (2002,[156]) donde los errores de medición de la variable dependiente y la dispersión intrínseca se agregan para ajustar  $\epsilon_0$  y se vuelve a montar hasta que  $X^2$  se redusca al ajuste el cual es igual a 1.

Estos resultados obtenidos por Kaspi et al (2005,[72]) lograron obtener diferentes procesos, los cuales en general fueron consistentes, asumiendo entre ellos una relación de Ley de Potencias  $BLR \propto L^\alpha$ . En este trabajo se encontró que el mejor ajuste medio es de  $0,67 \pm 0,05$  para la línea en el óptico y en  $H_\beta$ , su ajuste en el UV es aproximadamente de  $0,56 \pm 0,05$  y para la luminosidad en Rayos X duros es alrededor de  $0,70 \pm 0,14$ .

## 2.9. Conexión AGN-Starburst

Se conoce ampliamente formación estelar circumnuclear en muchas galaxias que albergan AGNs (Sturm et al (1999,[152])); Cid Fernandes et al (2001,[28]),(2004,[27]); Shi et al (2006b,[145]);



**Figura 2-10:** El tamaño de BLR de cada conjunto de datos se determina a partir de los retardos de tiempo de línea de Balmer. Los objetos con múltiples conjuntos de datos han sido promediados a un punto por objeto. Se muestran cinco ajustes de línea: línea punteada - FITEXY usando los 35 puntos; línea punteada y trazos - BCES usando los 35 puntos; línea continua - FITEXY excluyendo los 2 puntos de luminosidad más bajos; línea de trazos - BCES excluyendo los 2 puntos de luminosidad más bajos; línea punto-trazo-discontinua - FITEXY excluyendo los 2 puntos de luminosidad más bajos y fijando la pendiente a 0.5. Kaspi et al. (2005,[72])

Asari et al (2007,[12])). En estos últimos años, se han tenido evidencias observacionales y se ha confirmado que las Starburst nucleares y circumnucleares conviven en objetos que albergan con un AGN (e.g Mizutani et al (1994,[107]); Imanishi & Dudley (2000,[69]); Imanishi (2002,[71])). También se ha estudiado que hay una relación de la masa del agujero negro central supermasivo y una dispersión de las velocidades de las estrellas del bulbo galáctico, donde esto aclara un inicio de evolución en la actividad del AGN y la formación estelar del bulbo (e.g Mogorrián et al (1998,[99]); Gebhardt et al (2006,[50]); Tremaine et al (2002,[156]); Greene & Ho (2006,[58])), por lo tanto se desconoce el fenómeno físico que une la formación

estelara y la actividad del AGN, y tampoco se conoce la evolución de esa actividad. Muchos trabajos demuestran que los espectros en el infrarrojo de los AGNs se evidencian bandas de PAHs (Roche et al (1991b,[133]); Genzel et al (1998,[51]), donde en estudios teóricos y observacionales muestran que intensos campos de radiación en el AGN destruyen las moléculas portadoras de las mismas (Ramos-Almeida (2009,[126]); e.g Léger et al (1989,[92]). Una nube de polvo puede lograr proteger a los PAHs de la radiación ionizante de los AGNs y puede evitar la destrucción, pero en este caso se apantallaría la radiación UV que hace excitarlos y hacerlos visible; pero se acepta que estas bandas de PAHs inician la formación estelar circumnuclear, Ramos- Almeida (2009,[126]).

Los SEDs, en el IRAS han fundamentado que los Quásares tienen una emisión muy intensa en el IR lejano (Haas et al (2003,[59])). Su intensidad desciende rápidamente, y su origen de emisión es ópticamente delgada (Chini et al (1989,[26]); Hughes et al (1993,[67])), entre tanto el polvo que es más caliente, es dominado por SED en el IR medio y es calentado por el AGN, donde existe una discusión sobre el principio de la emisión en el IR lejano. Una de las posibilidades es que este calentamiento es directamente del AGN, pero el polvo se encuentra expuesto a una emisión de radiación directa de él, por tal motivo se mantiene a una temperatura que genera un máximo en la SED del IR lejano a unos 50K, tendría que estar situado a una distancia de la fuente central a cientos de parsecs, bastante lejos para estar en el toro (Sanders et al (1989,[141]); Ho (2005,[63])). En los modelos del toro su emisión en el IR medio procede del lado luminoso del polvo, mientras la cara oscura emite en el IR lejano, lo que minimiza las dimensiones del toro Ramos- Almeida (2009,[126])). Una posibilidad puede ser que la emisión en el IR lejano se debe a formación estelar en galaxias que hospedan AGN (Rowan-Robinson (1995,[137])). Las hipótesis cada vez se hacen más amplias, ya que las evidencias observacionales crecen en favor de ellas (Schweitzer et al (2006,[161]); Lutz et al (2007,[97]); Netzer et al (2007,[16])), con el descubrimiento de las bandas de PAH en esos Quasares, se encontró una correlación ajustada entre la luminosidad de los PAHs y el IR lejano, (Ramos- Almeida (2009,[126])).

Se contempló que el AGN y la Starburst pueden estar relacionadas con los flujos del gas que va hacia la región nuclear, esto es causa por perturbaciones debido a barras, fusiones o fuerzas de mareas (Maiolino et al (1997,[100]); Fathi et al (2006,[42]); Ramos- Almeida (2009,[126])) esto apoya a lo denominado Conexión AGN-Starburst (Norman & Scoville (1988,[110]); Terlevich et al (1990,[154]); Heckman et al (1997,[1]); Veilleux (2001,[159])), por lo tanto esto podría ser algo eventual ya que en gran cantidad de galaxias Seyfert, no se evidencia ninguna actividad Starbursts (e.g Filippenko et al (1993,[44])) y los estudios espectroscópicos ópticos, señalan que las Starbursts, no son comunes en las galaxias Seyfert que en las normales (Pogge (1989b,[122])), esto se debe a que es difícil diferenciar el Starbursts de los objetos dominados por el AGN y por la debilidad relativa de la señal espectral que permite identificar el dato de población estelar joven en la cercanía del AGN.

Existen dos acontecimientos posibles que generan actividad en el AGN y de formación estelar: La formación estelar inicia y prende el proceso en el AGN (e.g Weedman (1983,[165])) o la inversa (Gosalves et al (1999,[56])). Existe un escenario clasico de Sanders et al (1988,[141]) y explica la interacción y fusión de las galaxias progenitoras de las ULIRGs en la que genera la actividad Starbursts y luego empieza a decaer, mientras e AGN domina la luminosidad y expulsa el polvo el cual lo oscurece. Este proceso conlleva a que las ULIRGs tienen un proceso de fusión y están mucho más avanzada, por lo tanto esto debería estar denominadas por los AGNs.

La tasa de formación estelar (SFR) de las galaxias, estadísticamente se ha estudiado que su formación es superior a los que no tienen SFR (e.g Lewis et al (2002,[96]); Gómez et al (2003,[55])) y las que tienen alta SFR son galaxias en interacción, por tal motivo, no es claro si existe una conexión entre los procesos de fusión de la galaxia y la actividad del AGN, ya que estos estudios han generado resultados contradictorios (e.g Petrosian (1982,[118]); Dahari (1984,[32]); Keel et al (1985,[75])). Recientemente se han elaborado estudios con espectroscopía IRS de Quásares con un bajo  $z$ , Netzer et al (2007,[16])), donde señalan que la mayoría albergan Starbursts significativos, esto establece una separación de emisión en bandas de PAHs donde la intensidad de la Starbursts está correlacinada con la luminosidad del AGN, el cual es indicio de la conexión AGN-Starbursts.

Los cocientes entre la luminosidad en el IR lejano y las bandas de PAHs de estos Quásares son similares a las ULIRGs locales dominadas por Starbursts Ramos-Almeida (2009,[126])). Esta interpretación lleva a que la gran parte de emisión en el IR lejano de los Quásares es debido a la componente Starbursts. Por lo tanto este cociente depende de las propiedades del medio interestelar. Una explicación a ello es que la componente Starbursts tenga una emisión en el IR lejano, como pasa en galaxias con formación estelar, donde el cociente  $\frac{L_{FIR}}{L_{PAH}}$  es 100 veces menor que las ULIRGs (Netzer et al (2007,[16])). Esta posibilidad es poco probable en objetos con altas SFR y desde un punto de vista teórico es difícil obtener una geometría para la distribución de polvo que posibilite explicar la SED como una reemisión por el polvo de una radiación indispensable del AGN, (Netzer et al (2007,[16])).

# 3 Selección de la Muestra y Análisis de Datos

Los datos utilizados en esta tesis proceden de trabajos llevados a cabo por diferentes estudios. Fue necesario en este sentido recolectar datos provenientes de distintos instrumentos y con diferentes características. Los datos provienen de observaciones hechas con detectores instalados en satélites como XMM, Chandra, IRAS y Spitzer, y observatorios terrestres. En particular se cruzó la muestra de observaciones presentadas en los trabajos realizados por Kaspi (2000,[73]), Kaspi et al.(2005,[72]) y Diamond-Stanic et al. (2012,[35]).

La base inicial de datos que se exploró fue la recopilada por (Higuera, 2012,[49]), es una base de 450 objetos, donde estos datos se encuentran clasificados por varios tipos de AGNs. El interés en este trabajo es recopilar la información de las galaxias Seyfert tipo 1, por lo cual este primer trabajo deja un campo abierto en la tesis Doctoral y es mirar cual es la correlación que existe entre el tamaño de la (BLR) y la tasa de formación estelar (SFR) ya que se han venido realizando estudios posteriores los cuales se han hablado en el capítulo 2. Allí, 56 galaxias tienen información en:  $L(2 - 10\text{keV})$  y 17 Seyfert 1 tienen mediciones en  $\lambda L_{\lambda}(5100\text{\AA})$ . Posteriormente se consultó la base de datos recopilada por Kaspi et al. (2005,[72]), que presenta una muestra de 35 galaxias con información en  $L(H_{\beta})$ ,  $L(2 - 10)$ ,  $L_{\lambda}(5100\text{\AA})$ ,  $\lambda L_{\lambda}(1350\text{\AA})$  y  $\lambda L_{\lambda}(1450\text{\AA})$  y la muestra de Seyferts trabajada por Diamond-Stanic et al (2012,[35]) que incluye 84 galaxias con información en  $11.3 \mu\text{m}$ .

Para unificar toda la información, se construyó y ejecutó un filtro escrito en código Python que buscó y filtró en la base de datos: Nasa Extragalactic Database (NED, por sus siglas en inglés) todas las fuentes. En este punto se desarrollaron los siguientes pasos:

- Se estableció el tamaño de la BLR con base en las observaciones en:  $L(H_{\beta})$ ,  $\lambda L_{\lambda}(5100\text{\AA})$ ,  $\lambda L_{\lambda}(1450\text{\AA})$  y  $L(2-10 \text{ keV})$ .
- Se determinó la tasa de formación estelar con base en las observaciones de la emisión de PAH para la misma muestra anterior.
- Se obtuvieron los parámetros de ajuste asociados a la correlación esperada.

### 3.1. Correlación Tiempos de Reverberación ( $\tau$ ) - SFR PAH( $11.3\mu\text{m}$ )

Inicialmente y con solo los datos tomados de la literatura, se cruzaron las fuentes de la base de Kaspi et al.(2005,[72] Tabla 1, columnas 1 y 3) y Diamond-Stanic et al. (2012,[35]), Tabla 1 columna 3).

Objeto	$\tau$ (días)	SFR ( $M_{\odot}$ /años)
NGC3227	8,4	4,8e-01
NGC3516	10,9	1,2e-01
NGC3783	10,2	5,0e-02
NGC4051	4,3	1,1e-01
NGC4593	3,2	1,6e-01
Mrk509	79,6	4,7e+00
NGC7469	4,5	8,5e+00
NGC4151	7,1	5,8e-02

**Tabla 3-1:** Datos de los tiempos de reverberación  $\tau$  y SFR en PAH( $11.3\mu\text{m}$ ).

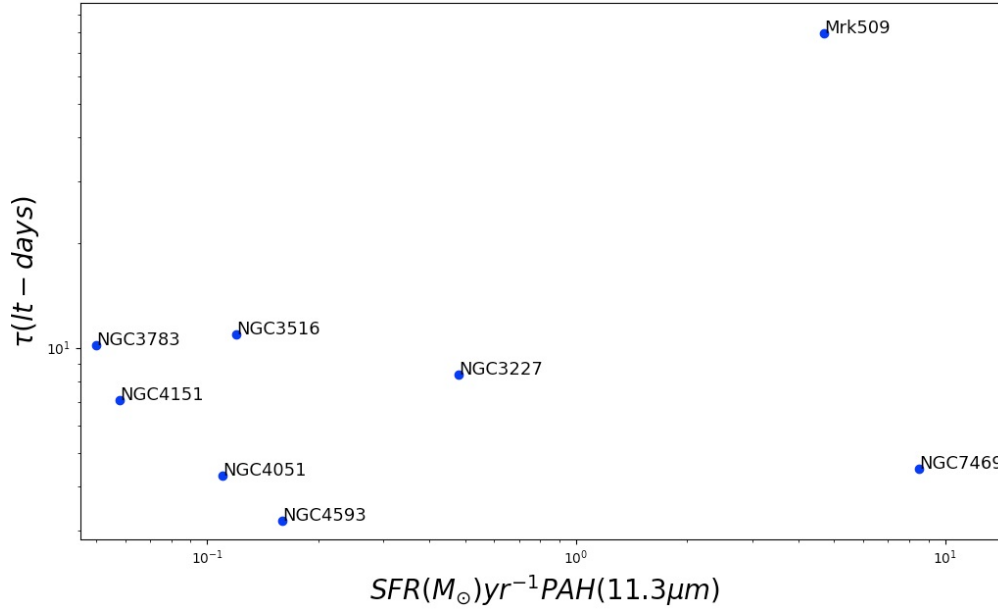
La tabla (3-1) muestra los objetos seleccionados con sus correspondiente datos de tiempos de reverberación donde en estos objetos se midieron más de un retardo de tiempo de esta línea, Kaspi et al (2005[72]) y la tasa de formación estelar. Su correspondiente gráfica se muestra en la figura (3.1).

En la figura (3.1), los puntos muestran que las dos variables no tienden a representar una correlación. Sin embargo estos ocho datos, los unicos que se cruzaron de los dos trabajos son insuficientes y se hace necesario ampliar la muestra con el fin de consolidar esta tendencia. Siendo así en este trabajo se mostrará cuales son las correlaciones que se obtienen y sus respectivos análisis.

Para ampliar la muestra se ejecuto el código que sobre la base de datos NED, filtro y cruzó toda la muestra de objetos a través de las emisiones establecidas en los trabajos de Kaspi et al (2005,[72]) y Diamond-Stanic et al. (2012,[35]).

### 3.2. Correlación $L(2 - 10\text{keV}) - \text{SFR}$

Con el uso del filtro diseñado y ejecutado con el código en Python y sobre la base de datos NED (Nasa Extragalactic Database, por sus siglas en igles), es una base de datos que compagina y correlaciona información astronómica de galaxias, Quásares, fuentes de rayos X, en



**Figura 3-1:** Representación de los datos de los tiempos de reverberación (Kaspi et al. 2005[72]) y la tasa de formación estelar (SFR) (Diamond-Stanic et al. (2012,[35])).

el infrarrojo y entre otros, que se encuentran más allá de nuestra vía láctea. La base de datos NED se encuentra liderada por Jet Propulsion Laboratory en el lugar de California Institute of Technology, con el contrato de la NASA. Con la ayuda de esta base de datos se encontró que 14 galaxias tienen simultáneamente flujo en 2-10 keV y emisión en 11,3  $\mu\text{m}$ .

Luminosidad	$A_{fitexy}$	$B_{fitexy}$	Pearson	Spearman
$\lambda L_{\lambda}(5100)/10^{44}$	$2,45 \pm_{0,17}^{0,18}$	$0,608 \pm 0,045$	0,869	0,845
$\lambda L_{\lambda}(1450)/10^{44}$	$2,12 \pm_{0,15}^{0,17}$	$0,496 \pm 0,042$	0,865	0,807
$L(2-10\text{keV})/10^{43}$	$0,75 \pm_{0,10}^{0,11}$	$0,614 \pm 0,064$	0,705	0,669

**Tabla 3-2:** Parámetros utilizados para hallar el tamaño de la BLR (Kaspi et al. 2005,[72]).

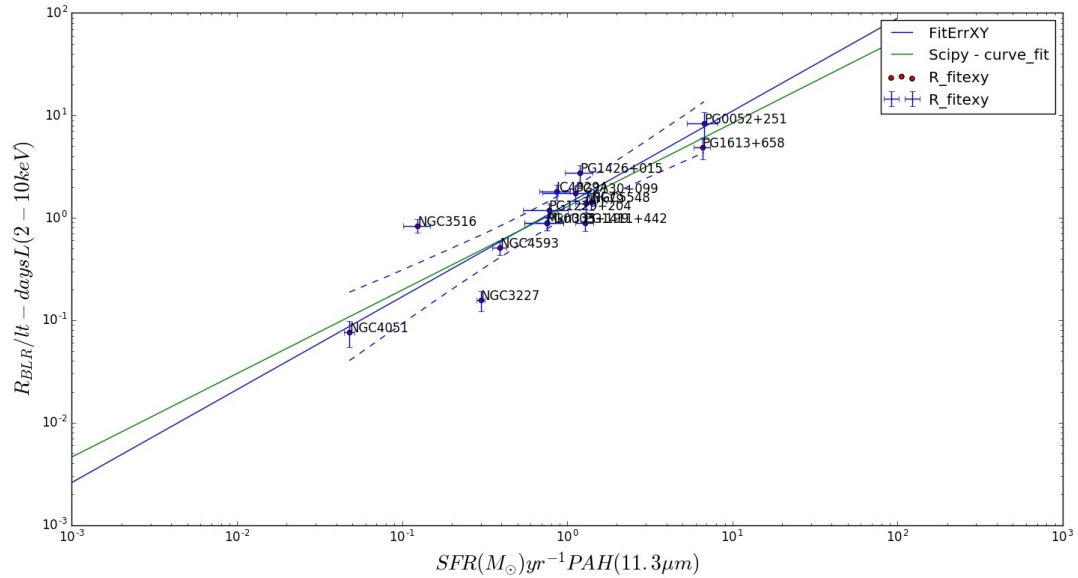
Para la estimación del tamaño de la BLR, se usaron los valores de  $A$  y  $B$  presentados en la Tabla (4-1, primera fila) y aplicados en la ecuación (2-9) y para la estimación de la SFR se usó la ecuación (2-6). En ambas determinaciones se introdujeron y propagaron los errores para cada una de las cantidades.

La Tabla (3-3) reúne los resultados para la muestra. Con base en ellos se construyó la gráfica  $L(2 - 10\text{keV})$  vs SFR (PAH 11,3 $\mu\text{m}$ ) (Figura 3-2). Como se observa en la figura una corre-



Objeto	$L(2 - 10keV)$	Flujo(PAH (11, $3\mu m$ )Jy-Hz)	Redshift( $z$ )	$R_{BLR}$	SFR
Mkn335	6,5e-07	2,2e+10	0,025	0,883	0,752
NGC5548	3,1e-06	9,2e+10	0,017	1,421	1,395
Mrk79	1,7e-06	5,1e+10	0,022	1,368	1,291
IC4329A	5,3e-06	6,5e+10	0,016	1,799	0,861
NGC3227	1,7e-06	3,9e+10	0,003	0,158	0,299
NGC4051	1,4e-06	1,1e+10	0,002	0,076	0,047
NGC4593	2,1e-06	9,3e+10	0,008	0,512	0,391
NGC3516	5,1e-06	3,1e+10	0,008	0,838	0,124
PG1229+204	1,7e-07	3,8e+10	0,063	1,182	0,775
PG1411+442	5,4e-08	3,1e+10	0,089	0,883	1,279
PG1426+015	3,6e-07	3,1e+10	0,086	2,729	1,194
PG0003+199	6,5e-07	2,2e+10	0,025	0,883	0,752
PG0052+251	7,0e-07	5,5e+10	0,154	8,300	6,746
PG1613+658	4,2e-07	7,6e+10	0,128	4,900	6,588
PG2130+099	3,3e-07	5,5e+10	0,062	1,747	1,121

**Tabla 3-3:** Datos obtenidos al cruzar las fuentes Seyfert en la base de datos NED.



**Figura 3-2:** Regresión lineal de  $L(2 - 10keV)$ -SFR (PAH  $11,3\mu m$ ), encontrando un correlación de 0,8 y con el ajuste FITEXY 0,7.

lacion aparece entre las variables: ( $R_{BLR} \propto SFR$ ). De tal manera que una nueva ecuación

con sus correspondientes valores en  $A^*$  y  $B^*$  se propone en este trabajo:

$$\frac{R_{BLR}}{10\text{días luz}} = A^*(\text{SFR } M_{\odot} \text{ años}^{-1})^{B^*}, \quad (3-1)$$

donde  $A^*$  proviene del punto de corte con el eje Y, y  $B^*$  es la pendiente de la función de correlación encontrada.

En la tabla **3-4** se presentan los valores encontrados para el tamaño de la BLR ( $R_{BLR}$ ) y la tasa de formación estelar (SFR) pero ahora con sus correspondientes errores.

Los puntos se muestran en la figura (**3-2**) y en la ecuación (3-7) se presenta la función obtenida para esta muestra.

Objeto	$R_{BLR}$	SFR	$\Delta R_{BLR}$	$\Delta$ SFR
Mkn335	0,883	0,752	0,130	0,199
NGC5548	1,421	1,395	0,233	0,088
Mrk79	1,368	1,291	0,233	0,172
IC4329A	1,799	0,861	0,315	0,180
NGC3227	0,158	0,299	0,034	0,017
NGC4051	0,076	0,047	0,021	0,003
NGC4593	0,512	0,391	0,079	0,038
NGC3516	0,838	0,124	0,126	0,023
PG1229+204	1,182	0,775	0,187	0,238
PG1411+442	0,883	1,279	0,144	0,161
PG1426+015	2,729	1,194	0,549	0,224
PG0003+199	0,883	0,752	0,130	0,199
PG0052+251	8,300	6,746	2,411	1,431
PG1613+658	4,900	6,588	1,199	0,751
PG2130+099	1,747	1,121	0,300	0,416

**Tabla 3-4:** Tabla con los datos correspondientes a las estimaciones llevadas a cabo para esta muestra.  $\Delta R_{BLR}$  y  $\Delta$  SFR son los errores correspondientes  $R_{BLR}$  y SFR.

Se propone una ecuación con el modelo de regresión lineal simple para esta variable de la siguiente forma:

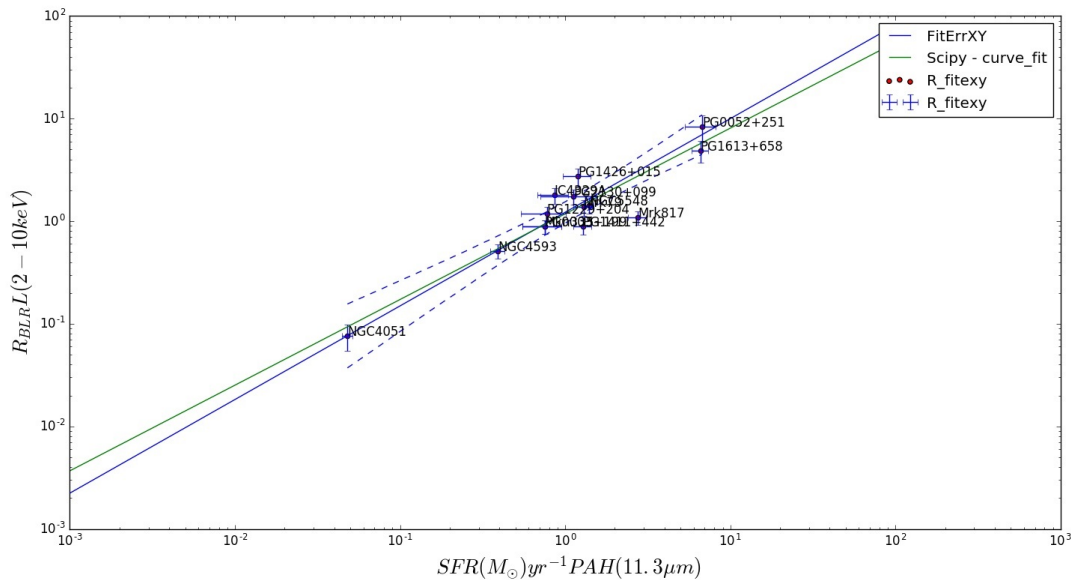
$$\frac{R_{BLR(2-10keV)}}{10\text{días luz}} = 1,28 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{0,81} \quad (3-2)$$

y para el modelo de FITEXY la ecuación propuesta para esta variable es de la siguiente forma:

$$\frac{R_{BLR(2-10keV)}}{10\text{días luz}} = 1,36 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{0,90} \quad (3-3)$$

El factor de ajuste para los datos (14 galaxias) es igual a 0,8 con el modelo estadístico de regresión lineal simple y con el modelo estadístico FITEXY es de 0,7.

Para mejorar la correlación y despues de consultar referencias en la literatura se descartaron las galaxias: NGC3227 y NGC 3516. La galaxia NGC3227 es un objeto de baja luminosidad en todas las bandas de longitud de onda observadas (Kaspi et al.2005,[72]). Por otra parte NGC 3227 presenta variaciones muy rapidas del continuo (Maoz, Edelson y Nandra, 2000,[33]).



**Figura 3-3:** Grafico sin incluir ahora las galaxias NGC 3227 y NGC 3516. Para este caso se encontró una correlación entre  $L(2 - 10keV)$  y SFR (PAH  $11.3\mu\text{m}$ ), de 0,85 y con el método de FITEXY de 0,8.

Correlación	Número de objetos	$R_{Simple}^2$	$R_{FITEXY}^2$
$L(2-10keV)$ –SFR PAH( $11.3\mu\text{m}$ )	15	0.8	0.7
$L(2-10keV)$ –SFR PAH( $11.3\mu\text{m}$ )	13*	0.85	0.8

**Tabla 3-5:** Tabla resumen (15 y 13 datos) para el factor de correlación obtenido con los dos métodos estadísticos estudiados.

Se propone una ecuación con el modelo de regresión lineal simple para esta variable de la siguiente forma:

$$\frac{R_{BLR(2-10keV)}}{10\text{días luz}} = 1,27 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{0,88} \quad (3-4)$$

y para el modelo de FITEXY la ecuación propuesta para esta variable es de la siguiente forma:

$$\frac{R_{BLR(2-10keV)}}{10\text{días luz}} = 1,30 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{0,92} \quad (3-5)$$

Llevado a cabo este filtro, ahora se encuentra que se mejora la correlación de los datos con un factor de ajuste igual a 0,9 y con el método FITEXY el factor es de 0.8. La Tabla (3-5) resume los coeficientes de correlación encontrados para estos dos casos.

### 3.3. Correlación $\lambda L_{\lambda} 5100\text{\AA}$ - SFR

Las observaciones en 5100 Å solo son medibles para galaxias tipo Seyfert 1, pues provienen del disco de acreción. Para este análisis se encontraron solo 9 galaxias con mediciones en  $\lambda L_{\lambda} 5100\text{\AA}$ , que permitieron estimar la BLR, y simultáneamente con observaciones también PAH(11,3μm) para determinar la SFR. (Tabla 3-6)

Objeto	$\lambda L_{\lambda} 5100\text{\AA}$	$R_{BLR}$	Flujo(PAH (11, 3μm)Jy-Hz)	Redshift(z)	SFR
NGC5548	0,00388	0,742	9,2e+10	0,017	1,395
NGC3227	0,00518	0,143	3,9e+10	0,003	0,299
NGC4051	0,00906	0,109	1,7e+10	0,002	0,047
Mrk817	0,00215	1,081	5,4e+10	0,031	2,747
PG1229+204	0,00187	2,312	3,8e+10	0,063	0,775
PG1411+442	0,00322	4,938	3,1e+10	0,089	1,279
PG0052+251	0,00180	6,722	5,5e+10	0,154	6,746
PG2130+099	0,00166	2,149	5,5e+10	0,062	1,121
PG1613+658	0,00303	7,412	7,6e+10	0,128	6,588

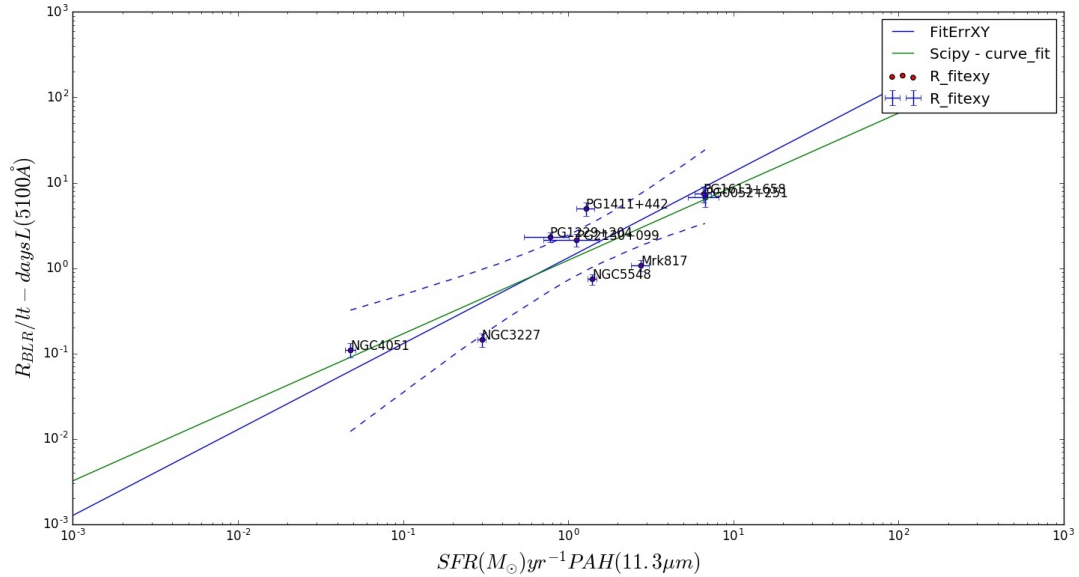
**Tabla 3-6:** Datos de la BLR y SFR para los objetos estudiados con mediciones  $\lambda L_{\lambda} 5100\text{\AA}$  y SFR en PAH(11,3μm).

En la obtención de la correlación para estas observaciones se usaron y propagaron los errores para cada una de las variables a través de las ecuaciones (2-6) y (2-9)

Con base en las estimaciones presentadas en las Tablas (3-6) y (3-7) se construye la gráfica (3-4), en la que se observa una buena correlación entre las variables.

Objeto	$R_{BLR}$	SFR	$\Delta R_{BLR}$	$\Delta$ SFR
NGC5548	0,742	1,395	0,106	0,088
NGC3227	0,143	0,299	0,025	0,017
NGC4051	0,109	0,047	0,020	0,003
Mrk817	1,081	2,747	0,161	0,346
PG1229+204	2,312	0,775	0,323	0,238
PG1411+442	4,938	1,279	0,888	0,161
PG0052+251	6,722	6,746	1,498	1,431
PG2130+099	2,149	1,121	0,370	0,416
PG1613+658	7,412	6,588	1,580	0,751

**Tabla 3-7:** Datos de la estimación de la BLR y SFR para la muestra de objetos estudiados con base en las observaciones en  $\lambda_{L\lambda}5100\text{\AA}$  y en PAH( $11,3\mu\text{m}$ ) y sus errores.



**Figura 3-4:** Datos y curvas de ajuste para de  $\lambda_{L\lambda}5100\text{\AA}$  versus SFR (PAH  $11,3\mu\text{m}$ ), Para este caso se encuentra una correlación simple de 0,72 y con el método estadístico FITEXY de 0,7.

Ahora y como en el anterior caso se propone una ecuación para estas variables por el método de regresión lineal simple de la forma:

$$\frac{R_{BLR(5100)}}{10\text{días luz}} = 1,23 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{0,86} \quad (3-6)$$

y para el modelo de FITEXY la ecuación propuesta para esta variable es de la siguiente

Correlación	Número de objetos	$R^2_{LinealSimple}$	$R^2_{fitexy}$
$\lambda L_{\lambda}5100\text{\AA}-\text{SFR PAH}(11,3\mu\text{m})$	9	0,72	0.7

**Tabla 3-8:** Tabla final con los 9 datos estudiados en longitudes de onda de  $\lambda L_{\lambda}5100\text{\AA}$  SFR en PAH(11,3 $\mu\text{m}$ ) en donde se diferencia la correlación con los dos métodos estadísticos estudiados.

forma:

$$\frac{R_{BLR(5100)}}{10\text{días luz}} = 1,32 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{1,005} \quad (3-7)$$

encontrando una correlación de 0,72 método de regresión lineal simple y 0,7 con el método FITEXY. (Tabla 3-8)

### 3.4. Correlación $\lambda L_{\lambda}1450\text{\AA}-\text{SFR}$

Para este análisis se trabajó con 15 objetos, siguiendo el mismo proceso que en los casos anteriores. En la tabla (3-9) se presentan los datos asociados a la estimación de la BLR y la SFR para la muestra seleccionada y en la tabla 3-10 se presentan sus correspondientes errores. De nuevo se procede a buscar la posible correlación entre:  $\lambda L_{\lambda}1450\text{\AA}$  y SFR (PAH 11,3 $\mu\text{m}$ ):

El gráfico de puntos y el ajuste se presenta ahora en la grafica (3-5) y de nuevo se obtiene una correlación entre  $\lambda L_{\lambda}1450\text{\AA}$  y SFR (PAH 11,3 $\mu\text{m}$ ).

Para este caso se tiene la ecuación por el método de regresión lineal simple de la siguiente forma:(3-9)

$$\frac{R_{BLR(1450)}}{10\text{días luz}} = 1,77 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{0,91} \quad (3-8)$$

y para el modelo de FITEXY la ecuación propuesta para esta variable es de la siguiente forma:

$$\frac{R_{BLR(1450)}}{10\text{días luz}} = 2,27 \times [\text{SFR (PAH } 11,3\mu\text{m)} M_{\odot} \text{ años}^{-1}]^{1,35} \quad (3-9)$$

Para este caso se encuentra que el factor de correlación entre  $\lambda L_{\lambda}1450\text{\AA}$  y SFR en PAH(11,3 $\mu\text{m}$ ) es de 0,52. Esta es una correlación aceptable dentro del margen de la cantidad de datos utilizados para este caso.

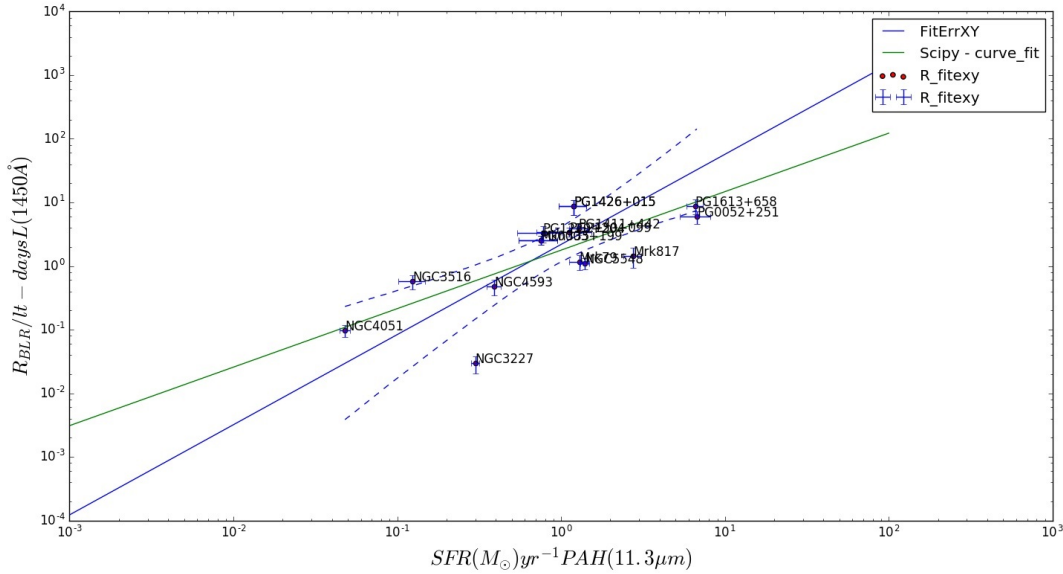
En resumen, la tabla 3-13 presenta las tres correlaciones obtenidas del análisis llevado a cabo con las diferentes observaciones y bajo las restricciones impuestas por los filtros y la

Objeto	$\lambda L_{\lambda 1450\text{\AA}}$	Flujo(PAH (11, 3 $\mu\text{m}$ )Jy-Hz)	Redshift( $z$ )	$R_{BLR}$	SFR
Mkn335	0,0050	2,2e+10	0,025	2,549	0,752
NGC5548	0,0021	9,2e+10	0,017	1,104	1,395
Mrk79	0,0014	5,1e+10	0,022	1,161	1,291
NGC3227	0,00002	3,9e+10	0,003	0,029	0,299
NGC4051	0,0008	1,7e+10	0,002	0,096	0,047
NGC4593	0,0014	9,3e+10	0,008	0,474	0,391
NGC3516	0,0021	3,1e+10	0,008	0,571	0,124
Mrk817	0,0010	3,1e+10	0,008	1,423	0,124
PG1229+204	0,0014	3,8e+10	0,063	3,271	0,775
PG1411+442	0,0009	3,1e+10	0,089	3,892	0,775
PG1426+015	0,0052	3,1e+10	0,086	8,651	1,194
PG0003+199	0,0050	2,2e+10	0,025	2,549	0,752
PG0052+251	0,0007	5,5e+10	0,154	5,929	6,746
PG1613+658	0,0024	7,6e+10	0,128	8,806	6,588
PG2130+099	0,0015	5,5e+10	0,062	3,438	1,121

**Tabla 3-9:** Datos de  $\lambda L_{\lambda 1450\text{\AA}}$ , y PAH (11,3  $\mu\text{m}$ ) y estimaciones del tamaño de la BLR y la SFR.

Objeto	$R_{BLR}$	SFR	$\Delta R_{BLR}$	$\Delta$ SFR
Mkn335	2,549	0,752	0,393	0,199
NGC5548	1,104	1,395	0,207	0,088
Mrk79	1,161	1,291	0,308	0,172
NGC3227	0,029	0,299	0,008	0,017
NGC4051	0,096	0,047	0,019	0,003
NGC4593	0,474	0,391	0,124	0,038
NGC3516	0,571	0,124	0,148	0,023
Mrk817	1,423	1,831	0,493	0,051
PG1229+204	3,271	0,775	0,959	0,238
PG1411+442	3,892	0,775	0,857	0,161
PG1426+015	8,651	1,194	2,294	0,224
PG0003+199	2,549	0,752	0,393	0,199
PG0052+251	5,929	6,746	1,302	1,431
PG1613+658	8,806	6,588	2,390	0,751
PG2130+099	3,438	1,121	0,569	0,416

**Tabla 3-10:** Tabla consolidada para los objetos seleccionados.



**Figura 3-5:** Regresión lineal encontrada de  $\lambda_{L\lambda}1450\text{\AA}$ -SFR (PAH  $11,3\mu\text{m}$ ), estableciendo una correlación de 0,52 y con el método estadístico FITEXY 0,4.

Correlación	Cantidades de objetos estudiados	$R^2_{LinealSimple}$	$R^2_{fitexy}$
$\lambda_{L\lambda}1450\text{\AA}$ -SFR PAH( $11,3\mu\text{m}$ )	14	0,52	0,4

**Tabla 3-11:** Tabla con los 14 datos estudiados en longitudes de onda de  $\lambda_{L\lambda}1450\text{\AA}$  y SFR en PAH( $11,3\mu\text{m}$ ).

literatura. Los datos de correlación obtenidos con el modelo estadístico FITEXY, imponen una exigencia mayor a la calidad de las mediciones que se ve reflejada en el factor de correlación

Correlación	Número de objetos	$R^2_{Simple}$	$R^2_{FITEXY}$
$L(2-10\text{keV})$ -SFR PAH( $11,3\mu\text{m}$ )	13*	0,85	0,8
$L(2-10\text{keV})$ -SFR PAH( $11,3\mu\text{m}$ )	15	0,8	0,7
$\lambda_{L\lambda}5100\text{\AA}$ -SFR PAH( $11,3\mu\text{m}$ )	9	0,72	0,7
$\lambda_{L\lambda}1450\text{\AA}$ -SFR PAH( $11,3\mu\text{m}$ )	15	0,52	0,4

**Tabla 3-12:** Tabla final, con los resultados resultados de las correlaciones obtenidas para cada grupo de galaxias, (\*) correlación obtenida sin las dos galaxias.

Con base a estos resultados se puede interpretar la importancia que existe sobre la Conexión



AGN-Starburst ya que este trabajo de investigación logró obtener resultados similares a los de Kaspi et al (2005,[72]), el cual con lleva a que este estudio seguirá siendo de mayor interes y de importancia para la astrofísica, ya que se ha podido trabajar varios autores y referentes que ayudan a desglosar este comportamiento y este estudio realizado en esta investigación.

Una de las mayores importancias es que para las diferentes bandas de moléculas de PAH en galaxias Seyfer y también Starburst, sugieren que existe actividad estelar en las regiones de polvo que contienen estos hidrocarburos. Por este mismo sentido la banda de PAH en  $11.3 \mu\text{m}$  resulta ser un buen trazador apropiado para resolver y analizar los procesos de actividad estelar en AGNs.

Siendo así en la siguiente tabla se evidencia los resultados obtenidos por Kaspi et al (2005,[72]) y los resultados obtenidos en esta investigación y se puede observar que los dos resultados se encuentran en el mismo rango de correlación.

Luminosidades	Coefficiente de Correlación	Tesis $R^2_{Simple}$	Tesis $R^2_{FITEXY}$
$\lambda L_{\lambda}5100\text{\AA}$	0,67	0,72	0,7
$\lambda L_{\lambda}1450\text{\AA}$	0,56	0,52	0,4
$L(2-10\text{keV})$	0,70	0,85	0,7

**Tabla 3-13:** Tabla con los resultados resultados de las correlaciones obtenidas en Kaspi et al (2005,[72]) y con los de esta investigación, donde se evidencia que la correlación que se obtuvo en las dos investigaiones se encuentran en un intervalo dentro del mismo rango.

Por tal motivo se puede evidenciar que el estudio AGN-Starburst sigue siendo un indicador inportante de formación estelar, como en el caso de esta ivestigación, donde establecido otra parte del AGN que son las regiones de líneas anchas (BLR), se genera cierto tipo de formación estelar en ciertas emisiones, las cuales establecen unos buenos resultados como se puede evidenciar en la (Tabla 3-12), generando buenos aportes a la línea de investigación AGN-Starburst.

## 4 Conclusiones

- En este trabajo se analizó 450 galaxias, en las cuales 15 contienen la información de las variables incorporadas en este trabajo es decir: PAH en  $11,3 \mu\text{m}$  como trazador para la formación estelar y luminosidades en Rayos X duros  $L(2 - 10\text{keV})$ ; en el óptico  $\lambda L_{\lambda 5100\text{\AA}}$  y en el UV  $\lambda L_{\lambda 1450\text{\AA}}$  usada para las estimaciones del tamaño de la BLR.
- Se encuentra que se valida la existencia de una correlación entre el tamaño de la BLR y la SFR de la forma:

$$\frac{R_{BLR}}{10\text{días luz}} = A^*(\text{SFR } M_{\odot} \text{ años}^{-1})^{B^*}, \quad (4-1)$$

donde  $A^*$  proviene del punto de corte con el eje Y, y  $B^*$  es la pendiente de la función de correlación encontrada, obteniendo los siguientes datos para cada constante:

Luminosidad	$A^*_{\text{RegresionLineal}}$	$B^*_{\text{RegresionLineal}}$	$A^*_{\text{FITEXY}}$	$B^*_{\text{FITEXY}}$
$\lambda L_{\lambda}(5100)/10^{44}$	1,23	0,86	1,32	1,005
$\lambda L_{\lambda}(1450)/10^{44}$	1,77	0,91	2,27	1,35
$L(2-10\text{keV})/10^{43}$	1,28	0,81	1,36	0,90
$*L(2-10\text{keV})/10^{43}$	1,18	0,83	1,30	0,92

**Tabla 4-1:** Parámetros encontrados para hallar el tamaño de la BLR.

- Los resultados muestran, en una primera aproximación, que mayores tamaños de la región de líneas anchas, asociadas a núcleos activos, conducen a una mayor actividad de formación de estrellas, en regiones circumnucleares al AGN.
- Los factores de correlación de los ajustes, encontrados usando la banda de PAH en  $11,3 \mu\text{m}$  y las luminosidades en el continuo, para la muestra de galaxias Seyfert, oscilan entre 0,4 y 0,8. Estos factores son buenos en términos de la baja disponibilidad de datos con variables cruzadas. En particular, la SFR, trazada por las emisiones de PAH ( $11,3\mu\text{m}$ ) y la emisión en el continuo en Rayos X  $L(2 - 10\text{keV})$  presenta una correlación muy buena, tanto usando el método de regresión lineal y el método de FITEXY. Ahora, la SFR con respecto a la luminosidad en  $\lambda L_{\lambda 5100\text{\AA}}$  presenta una correlación buena es buena y con respecto a la luminosidad en  $\lambda L_{\lambda 1450\text{\AA}}$  es regular.

- La cantidad de galaxias con variables cruzadas alcanza como máximo 15 objetos en esta investigación como referencia en el trabajo de Kaspi et al (2005) solo contaron con 35 objetos. Los factores de correlación encontrados dan la confianza sobre la relación directa entre las variables involucradas. En la medida que futuras y nuevas observaciones estén disponibles, este trabajo sugiere que los ajustes deberán ser cada vez mejores.
- Finalmente, estos resultados brindan elementos de apoyo a la denominada conexión AGN-starburst, la cual ha sido objeto de intenso estudio y análisis en congresos especializados en los últimos años.

# Bibliografía

- [1]
- [2] AJELLO, M. ; GREINER, J. ; SATO, G. ; WILLIS, D. R. ; KANBACH, G. ; STRONG, A. W. ; DIEHL, R. ; HASINGER, G. ; GEHRELS, N. ; MARKWARDT, C. B. ; TUELLER, J.: Cosmic X-Ray Background and Earth Albedo Spectra with Swift BAT. En: *The Astrophysical Journal* 689 (2008), Dezember
- [3] ALLAMANDOLA, L. J. ; HUDGINS, D. M. ; SANDFORD, S. A.: Modeling the Unidentified Infrared Emission with Combinations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. En: *The Astrophysical Journal* 511 (1999), Februar
- [4] ALLAMANDOLA, L. J. ; HUDGINS, D. M. ; SANDFORD, S. A.: Modeling the Unidentified Infrared Emission with Combinations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. En: *The Astrophysics Journal* 511 (1999)
- [5] ALLAMANDOLA, L. J. ; TIELENS, A. G. G. M. ; BARKER, J. R.: Polycyclic aromatic hydrocarbons and the unidentified infrared emission bands - Auto exhaust along the Milky Way. En: *Astrophysical Journal* 290 (1985), März
- [6] ALONSO-HERRERO, A. ; PÉREZ-GONZÁLEZ, P. G. ; ALEXANDER, D. M. ; RIEKE, G. H. ; RIGOPOULOU, D. ; LE FLOC'H, E. ; BARMBY, P. ; PAPOVICH, C. ; RIGBY, J. R. ; BAUER, F. E. ; BRANDT, W. N. ; EGAMI, E. ; WILLNER, S. P. ; DOLE, H. ; HUANG, J.-S.: Infrared Power-Law Galaxies in the Chandra Deep Field-South: Active Galactic Nuclei and Ultraluminous Infrared Galaxies. En: *The Astrophysical Journal, Volume* 640 (2006), März, p. 167–184
- [7] ALONSO-HERRERO, A. ; QUILLEN, A. C. ; RIEKE, G. H. ; IVANOV, V. D. ; EFS-TATHIOU, A.: Spectral Energy Distributions of Seyfert Nuclei. En: *The Astronomical Journal* 126 (2003), Juli
- [8] ALONSO-HERRERO, A. ; QUILLEN, A. C. ; SIMPSON, C. ; EFSTATHIOU, A. ; WARD, M. J.: The Nonstellar Infrared Continuum of Seyfert Galaxies. En: *The Astronomical Journal* 121 (2001), März
- [9] ANTONUCCI, R.: Unified models for active galactic nuclei and quasars. En: *In: Annual review of astronomy and astrophysics*. 31 (1993)

- 
- [10] ANTONUCCI, R.: Unified models for active galactic nuclei and quasars. En: *In: Annual review of astronomy and astrophysics* 31 (1993), p. 473–521
- [11] ANTONUCCI, R. R. J. ; MILLER, J. S.: Spectropolarimetry and the nature of NGC 1068. En: *Astrophysical Journal* 297 (1985), Oktober, p. 621–632
- [12] ASARI, N. V. ; CID FERNANDES, R. ; STASIŃSKA, G. ; TORRES-PAPAQUI, J. P. ; MATEUS, A. ; SODRÉ, L. ; SCHOENELL, W. ; GOMES, J. M.: The history of star-forming galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 381 (2007), Oktober
- [13] BAGNUOLO, W. G.: *The stellar composition and evolution of irregular and other late-type galaxies*, California Institute of Technology, Pasadena., Tesis de Grado, 1976
- [14] BALDWIN, J. A. ; PHILLIPS, M. M. ; TERLEVICH, R.: Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. En: *Astronomical Society of the Pacific* 93 (1981), Februar
- [15] BLANDFORD, R. D. ; MCKEE, C. F.: Reverberation mapping of the emission line regions of Seyfert galaxies and quasars. En: *Astrophysical Journal*, 255 (1982), April
- [16] BLANDFORD, R. D. (Ed.) ; NETZER, H. (Ed.) ; WOLTJER, L. (Ed.) ; COURVOISIER, T. J. (Ed.) ; MAYOR, M. (Ed.): *Active Galactic Nuclei*. 1990 . – 97 p.
- [17] BONATTO, C. J. ; PASTORIZA, M. G.: Optical and Far-Infrared Emission of IRAS Seyfert Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 486 (1997), September
- [18] BOULADE, O. ; SAUVAGE, M. ; ALTIERI, B. ; BLOMMAERT, J. ; GALLAIS, P. ; GUEST, S. ; METCALFE, L. ; OKUMURA, K. ; OTT, S. ; TRAN, D. ; VIGROUX, L.: NGC 5195 - a look into the hot dusty ISM of an interacting SB0 galaxy with ISOCAM. En: *Astronomy and Astrophysics* 315 (1996), November
- [19] BOWER, G. ; WILSON, A. ; MORSE, J. A. ; GELDERMAN, R. ; WHITTLE, M. ; MULCHAEY, J.: Radio and Emission-Line Jets in the Type 2 Seyfert Galaxy Markarian 1066 (UGC 2456). En: *The Astrophysical Journal* 454 (1995), November, p. 106
- [20] BRAND, K. ; DEY, A. ; WEEDMAN, D. ; DESAI, V. ; LE FLOC'H, E. ; JANNUZI, B. T. ; SOIFER, B. T. ; BROWN, M. J. I. ; EISENHARDT, P. ; GORJIAN, V. ; PAPOVICH, C. ; SMITH, H. A. ; WILLNER, S. P. ; COOL, R. J.: The Active Galactic Nuclei Contribution to the Mid-Infrared Emission of Luminous Infrared Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 644 (2006), Juni
- [21] BURBIDGE, G. R. ; STEIN, W. A.: Cosmic Sources of Infrared Radiation. En: *Astrophysical Journal* 160 (1970), p. 573

- [22] CABALLERO, Antonio H.: *Galaxias Ultraluminosas en el Infrarrojo: la Conexión AGN-Starburst*. 2008
- [23] CALZETTI, D. ; KENNICUTT, R. C. ; ENGELBRACHT, C. W. ; LEITHERER, C. ; DRAINE, B. T. ; KEWLEY, L. ; MOUSTAKAS, J. ; SOSEY, M. ; DALE, D. A. ; GORDON, K. D. ; HELOU, G. X. ; HOLLENBACH, D. J. ; ARMUS, L. ; BENDO, G. ; BOT, C. ; BUCKALEW, B. ; JARRETT, T. ; LI, A. ; MEYER, M. ; MURPHY, E. J. ; PRESCOTT, M. ; REGAN, M. W. ; RIEKE, G. H. ; ROUSSEL, H. ; SHETH, K. ; SMITH, J. D. T. ; THORNLEY, M. D. ; WALTER, F.: The Calibration of Mid-Infrared Star Formation Rate Indicators. 666 (2007), September
- [24] CAPETTI, A. ; MACCHETTO, F. ; SPARKS, W. B. ; BOKSENBERG, A.: HST observations of the (O III) emission-line region in Markarian 78. En: *The Astrophysical Journal* 421 (1994), p. 87–91
- [25] CEPA, J.: *The Emission-Line Universe*. 2009
- [26] CHINI, R. ; KREYSA, E. ; BIERMANN, P. L.: The nature of radio-quiet quasars. En: *Astronomy and Astrophysics* 219 (1989), Juli
- [27] CID FERNANDES, R. ; GU, Q. ; MELNICK, J. ; TERLEVICH, E. ; TERLEVICH, R. ; KUNTH, D. ; RODRIGUES LACERDA, R. ; JOGUET, B.: The star formation history of Seyfert 2 nuclei. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 355 (2004), November
- [28] CID FERNANDES, R. ; HECKMAN, T. ; SCHMITT, H. ; GONZÁLEZ DELGADO, R. M. ; STORCHI-BERGMANN, T.: Empirical Diagnostics of the Starburst-AGN Connection. En: *The Astrophysical Journal*, 558 (2001), September
- [29] CLAVEL, J. ; SCHULZ, B. ; ALTIERI, B. ; BARR, P. ; CLAES, P. ; HERAS, A. ; LEECH, K. ; METCALFE, L. ; SALAMA, A.: 2.5-11 micron spectroscopy and imaging of AGNs. Implication for unification schemes. En: *Astronomy and Astrophysics* 357 (2000), Mai
- [30] COHEN, J. G.: H-alpha emission from the disks of spiral galaxies. En: *Astrophysical Journal* 203 (1976), Februar, p. 587–592
- [31] COWIE, L. L. ; HU, E. M. ; SONGAILA, A. ; EGAMI, E.: The Evolution of the Distribution of Star Formation Rates in Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 481 (1997), Mai
- [32] DAHARI, O.: Companions of Seyfert galaxies - A statistical survey. En: *Astronomical Journal* 89 (1984), Juli

- [33] DAN MAOZ, RICK E. ; NANDRA, KIRPAL: A POSSIBLE 100 DAY X-RAY-TO-OPTICAL LAG IN THE VARIATIONS OF THE SEYFERT 1 NUCLEUS NGC 3516. En: *The Astronomical Journal* 533 (2000)
- [34] DIAMOND-STANIC, A. M. ; RIEKE, G. H.: The Effect of Active Galactic Nuclei on the Mid-infrared Aromatic Features. En: *The Astrophysical Journal* 724 (2010), November
- [35] DIAMOND-STANIC, A. M. ; RIEKE, G. H.: The Relationship between Black Hole Growth and Star Formation in Seyfert Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 746 (2012)
- [36] DÍAZ-SANTOS, T. ; ALONSO-HERRERO, A. ; COLINA, L. ; PACKHAM, C. ; LEVENSON, N. A. ; PEREIRA-SANTAELLA, M. ; ROCHE, P. F. ; TELESKO, C. M.: A High Spatial Resolution Mid-Infrared Spectroscopic Study of the Nuclei and Star-Forming Regions in Luminous Infrared Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 711 (2010), März
- [37] DONAS, J. ; DEHARVENG, J. M.: Ultraviolet luminosities and colors of spiral and irregular galaxies - The present-day star formation rate. En: *Astronomy and Astrophysics* 140 (1984), November
- [38] DONLEY, J. L. ; RIEKE, G. H. ; PÉREZ-GONZÁLEZ, P. G. ; BARRO, G.: Spitzer's Contribution to the AGN Population. En: *The Astrophysical Journal* 687 (2008), November
- [39] DRAINE, B. T. ; LI, A.: Infrared Emission from Interstellar Dust. I. Stochastic Heating of Small Grains. En: *The Astrophysical Journal* 551 (2001), p. 807–824
- [40] EDELSON, R. A. ; MALKAN, M. A.: Spectral energy distributions of active galactic nuclei between 0.1 and 100 microns. En: *Astrophysical Journal* 308 (1986), September
- [41] ELLIS, R. S.: Faint Blue Galaxies. En: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 35 (1997)
- [42] FATHI, K. ; STORCHI-BERGMANN, T. ; RIFFEL, R. A. ; WINGE, C. ; AXON, D. J. ; ROBINSON, A. ; CAPETTI, A. ; MARCONI, A.: Streaming Motions toward the Supermassive Black Hole in NGC 1097. En: *The Astrophysical Journal* 641 (2006), April
- [43] FEIGELSON, E. *Star Formation in Quiescent Giant Molecular Clouds*. September 2001
- [44] FILIPPENKO, A. V. ; HO, L. C. ; SARGENT, W. L. W.: HST observations of NGC 4395, the least luminous Seyfert 1 nucleus - Evidence against the starburst hypothesis for broad-lined active galactic nuclei. En: *Astrophysical Journal* 410 (1993), Juni

- [45] FISCHER, Luhman M. S. S.: ISO Far-IR spectroscopy of IR-bright galaxies and ULIRGs. En: *strophysics and Space Science* (1999)
- [46] FRANK, J. ; KING, A ; RAINE, D.J: Accretion Power in Astrophysics. En: *Cambridge Univ. Press, Cambridge* (1979), p. 398
- [47] GALLAGHER, J. S. ; BUSHOUSE, H. ; HUNTER, D. A.: Star-formation rates and forbidden O II emission in blue galaxies. En: *Astronomical Journal* 97 (1989), März
- [48] GALLAGHER, J. S. ; HUNTER, D. A. ; TUTUKOV, A. V.: Star formation histories of irregular galaxies. En: *Astrophysical Journal* 284 (1984), September
- [49] GARZÓN, Mario Armando H.: *Intensa formación estelar en núcleos activos de galaxias, trazada por emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos y análisis del toroide como región en donde toma lugar esta actividad estelar.*, Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Doctorado, 2011
- [50] GEBHARDT, K. ; BENDER, R. ; BOWER, G. ; DRESSLER, A. ; FABER, S. M. ; FILIPPENKO, A. V. ; GREEN, R. ; GRILLMAIR, C. ; HO, L. C. ; KORMENDY, J. ; LAUER, T. R. ; MAGORRIAN, J. ; PINKNEY, J. ; RICHSTONE, D. ; TREMAINE, S.: A Relationship between Nuclear Black Hole Mass and Galaxy Velocity Dispersion. En: *The Astrophysical Journal*, 539 (2000), August
- [51] GENZEL, R. ; LUTZ, D. ; TACCONI, L.: Star formation triggered by galaxy collisions. En: *Nature* 395 (1998), Oktober
- [52] G.H, Rieke, ; LOW, F.J.: Infrared Photometry of Extragalactic Sources. En: *The Astrophysical Journal* 176 (1972)
- [53] GILLET, F. C. ; FORREST, W. J. ; MERRILL, K. M.: 8 - 13-micron spectra of NGC 7027, BD +30 3639, and NGC 6572. En: *The Astrophysical Journal* 183 (1973), Juli, p. 87–93
- [54] GLIKMAN, E. ; HELFAND, D. J. ; WHITE, R. L.: A Near-Infrared Spectral Template for Quasars. En: *The Astrophysical Journal* 640 (2006), April
- [55] GÓMEZ, P. L. ; NICHOL, R. C. ; MILLER, C. J. ; BALOGH, M. L. ; GOTO, T. ; ZABLUDOFF, A. I. ; ROMER, A. K. ; BERNARDI, M. ; SHETH, R. ; HOPKINS, A. M. ; CASTANDER, F. J. ; CONNOLLY, A. J. ; SCHNEIDER, D. P. ; BRINKMANN, J. ; LAMB, D. Q. ; SUBBARAO, M. ; YORK, D. G.: Galaxy Star Formation as a Function of Environment in the Early Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. En: *The Astrophysical Journal* 584 (2003), Februar



- [56] GONÇALVES, A. C. ; VÉRON-CETTY, M.-P. ; VÉRON, P.: AGNs with composite spectra. II. Additional data. En: *Astronomy and Astrophysics Supplement* 135 (1999), März
- [57] GRANATO, G. L. ; DE ZOTTI, G. ; SILVA, L. ; BRESSAN, A. ; DANESE, L.: A Physical Model for the Coevolution of QSOs and Their Spheroidal Hosts. En: *The Astrophysical Journal* 600 (2004), Januar, p. 580–594
- [58] GREENE, J. E. ; HO, L. C.: The  $M_{BH}-\sigma_*$  Relation in Local Active Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 641 (2006), April
- [59] HAAS, M. ; KLAAS, U. ; MÜLLER, S. A. H. ; BERTOLDI, F. ; CAMENZIND, M. ; CHINI, R. ; KRAUSE, O. ; LEMKE, D. ; MEISENHEIMER, K. ; RICHARDS, P. J. ; WILKES, B. J.: The ISO view of Palomar-Green quasars. En: *Astronomy and Astrophysics* 402 (2003), April
- [60] HARPER, D. A. ; LOW, F. J.: Far-Infrared Observations of Galactic Nuclei. En: *Astrophysical Journal* 182 (1973), Juni, p. L89
- [61] HASINGER, G. ; LEBOSKY, M. J.: Infrared emission of extragalactic sources. En: *Astrophysics* 17 (1979), p. 477–511
- [62] HEAVENS, A. ; PANTER, B. ; JIMENEZ, R. ; DUNLOP, J.: The star-formation history of the Universe from the stellar populations of nearby galaxies. En: *Nature* 428 (2004), April, p. 625–627
- [63] HO, L. C.: [O II] Emission in Quasar Host Galaxies: Evidence for a Suppressed Star Formation Efficiency. En: *The Astrophysical Journal* 629 (2005), August
- [64] HO, L. C. ; KETO, E.: The Mid-Infrared Fine-Structure Lines of Neon as an Indicator of Star Formation Rate in Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 658 (2007), März
- [65] HUBBLE, E. P.: Extragalactic nebulae. En: *Astrophysical Journal* 64 (1926), Dezember
- [66] HUCHRA, J. P.: Star formation in blue galaxies. En: *Astrophysical Journal*, 217 (1977), November
- [67] HUGHES, D. H. ; ROBSON, E. I. ; DUNLOP, J. S. ; GEAR, W. K.: Thermal Dust Emission from Quasars - Part One - Submillimetre Spectral Indices of Radio Quiet Quasars. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 263 (1993), August
- [68] HUNTER, D. A. ; GALLAGHER, J. S.: Properties of ionized interstellar froth in irregular galaxies. En: *Astrophysical Journal* 362 (1990), Oktober
- [69] IMANISHI, M.: 3-4 Micron Spectroscopy of Seyfert 2 Nuclei to Quantitatively Assess the Energetic Importance of Compact Nuclear Starbursts. 569 (2002), April

- 
- [70] IMANISHI, M.: Compact Nuclear Starbursts in Seyfert 2 Galaxies from the CfA and 12 Micron Samples. 599 (2003), Dezember
- [71] IMANISHI, M. ; DUDLEY, C. C. ; MALONEY, P. R.: Infrared 3-4  $\mu\text{m}$  Spectroscopic Investigations of a Large Sample of Nearby Ultraluminous Infrared Galaxies. En: *The Astrophysical Journal*, 637 (2006), Januar
- [72] KASPI, S. ; MAOZ, D. ; NETZER, H. ; PETERSON, B. M. ; VESTERGAARD, M. ; JANNUZI, B. T.: The Relationship between Luminosity and Broad-Line Region Size in Active Galactic Nuclei. En: *Astrophysical Journal* 629 (2005), p. 61–71
- [73] KASPI, S. ; SMITH, P. S. ; NETZER, H. ; MAOZ, D. ; JANNUZI, B. T. ; GIVEON, U.: Reverberation Measurements for 17 Quasars and the Size-Mass-Luminosity Relations in Active Galactic Nuclei. En: *The Astronomy Astrophysics* 533 (2000)
- [74] 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. ; SCHNEIDER, D. P.: The host galaxies of active galactic nuclei. 346 (2003), Dezember, p. 1055–1077
- [75] KEEL, W. C. ; KENNICUTT, R. C. ; HUMMEL, E. ; VAN DER HULST, J. M.: The effects of interactions on spiral galaxies. I - Nuclear activity and star formation. En: *Astronomical Journal* 90 (1985), Mai
- [76] KELLY, B. C.: Some Aspects of Measurement Error in Linear Regression of Astronomical Data. En: *The Astrophysical Journal* 665 (2007), August
- [77] KENNICUTT, R. C.: The rate of star formation in normal disk galaxies. En: *Astrophysical Journal*,
- [78] KENNICUTT, R. C.: The integrated spectra of nearby galaxies - General properties and emission-line spectra. En: *Astrophysical Journal* 388 (1992), April
- [79] KENNICUTT, R. C.: Star Formation in Galaxies Along the Hubble Sequence. En: *Astronomy & Astrophysics* 36 (1998), p. 189–232
- [80] KENNICUTT, R. C. ; BRESOLIN, F. ; BOMANS, D. J. ; BOTHUN, G. D. ; THOMPSON, I. B.: Large scale structure of the ionized gas in the magellanic clouds. En: *Astronomical Journal* 109 (1995), Februar
- [81] KENNICUTT, R. C. ; EDGAR, B. K. ; HODGE, P. W.: Properties of H II region populations in galaxies. II - The H II region luminosity function. En: *Astrophysical Journal* 337 (1989), Februar

- [82] KEWLEY, L. J. ; DOPITA, M. A. ; SUTHERLAND, R. S. ; HEISLER, C. A. ; TREVENA, J.: Theoretical Modeling of Starburst Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 556 (2001), Juli, p. 121–140
- [83] KHACHIKIAN, E. Y. ; WEEDMAN, D. W.: An atlas of Seyfert galaxies. En: *Astrophysical Journal* 192 (1974), September, p. 581–589
- [84] KISHIMOTO, M. ; ANTONUCCI, R. ; BLAES, O.: The dust-eliminated shape of quasar spectra in the near-infrared: a hidden part of the big blue bump. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 364 (2005), Dezember
- [85] KNACKE, R. F. ; THOMSON, R. K.: Infrared Extinction Cross Sections of Silicate Grains. En: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 85 (1973), Juni
- [86] KORATKAR, A. ; BLAES, O.: The Ultraviolet and Optical Continuum Emission in Active Galactic Nuclei: The Status of Accretion Disks. En: *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 111 (1999), Januar
- [87] KORMENDY, J. ; KENNICUTT, R. C.: Secular Evolution and the Formation of Pseudobulges in Disk Galaxies. En: *Astronomy and Astrophysics* (2004), p. 603–683
- [88] KRIMM, H. A. ; BARTHELMEY, S. D. ; BAUMGARTNER, W. ; CUMMINGS, J. ; GEHRELS, N. ; LIEN, A. Y. ; MARKWARDT, C. B. ; PALMER, D. ; SAKAMOTO, T. ; STAMATIUKOS, M. ; UKWATTA, T.: Swift/BAT detects hard X-ray emission from RX J0520.5-6932. En: *The Astronomer's Telegram* 5675 (2013), Dezember
- [89] KRIVONOS, R. ; TSYGANKOV, S. ; REVNIVTSEV, M. ; GREBENEV, S. ; CHURAZOV, E. ; SUNYAEV, R.: INTEGRAL/IBIS 7-year All-Sky Hard X-Ray Survey. II. Catalog of sources. En: *Astronomy and Astrophysics* 523 (2010), November
- [90] LACY, M. ; STORRIE-LOMBARDI, L. J. ; SAJINA, A. ; APPLETON, P. N. ; ARMUS, L. ; CHAPMAN, S. C. ; CHOI, P. I. ; FADDA, D. ; FANG, F. ; FRAYER, D. T. ; HEINRICHSEN, I. ; HELOU, G. ; IM, M. ; MARLEAU, F. R. ; MASCI, F. ; SHUPE, D. L. ; SOIFER, B. T. ; SURACE, J. ; TEPLITZ, H. I. ; WILSON, G. ; YAN, L.: Obscured and Unobscured Active Galactic Nuclei in the Spitzer Space Telescope First Look Survey. En: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 154 (2004), September, p. 166–169
- [91] LARSON, R. B. ; TINSLEY, B. M.: Star formation rates in normal and peculiar galaxies. En: *Astrophysical Journal* 219 (1978), Januar
- [92] LEGER, A. ; PUGET, J. L.: Identification of the 'unidentified' IR emission features of interstellar dust? En: *Astronomy & Astrophysics* 137 (1984), August, p. L5–L8

- [93] LEITHERER, C. ; FERGUSON, H. C. ; HECKMAN, T. M. ; LOWENTHAL, J. D.: The Lyman Continuum in Starburst Galaxies Observed with the Hopkins Ultraviolet Telescope. En: *Astrophysical Journal Letters* 454 (1995), November
- [94] LELIEVRE, G. ; NIETO, J.-L. ; HORVILLE, D. ; RENARD, L. ; SERVAN, B.: Optical structures of the M87 and 3C 273 jets. En: *Astronomy and Astrophysics* 138 (1984), September, p. 49–56
- [95] LEVENSON, N. A. ; SIROCKY, M. M. ; HAO, L. ; SPOON, H. W. W. ; MARSHALL, J. A. ; ELITZUR, M. ; HOUCK, J. R.: Deep Mid-Infrared Silicate Absorption as a Diagnostic of Obscuring Geometry toward Galactic Nuclei. En: *The Astrophysical Journal* 654 (2007), Januar
- [96] LEWIS, I. ; BALOGH, M. ; DE PROPRIIS, R. ; COUCH, W. ; BOWER, R. ; OFFER, A. ; BLAND-HAWTHORN, J. ; BALDRY, I. K. ; BAUGH, C. ; BRIDGES, T. ; CANNON, R. ; COLE, S. ; COLLESS, M. ; COLLINS, C. ; CROSS, N. ; DALTON, G. ; DRIVER, S. P. ; EFSTATHIOU, G. ; ELLIS, R. S. ; FRENK, C. S. ; GLAZEBROOK, K. ; HAWKINS, E. ; JACKSON, C. ; LAHAV, O. ; LUMSDEN, S. ; MADDOX, S. ; MADGWICK, D. ; NORBERG, P. ; PEACOCK, J. A. ; PERCIVAL, W. ; PETERSON, B. A. ; SUTHERLAND, W. ; TAYLOR, K.: The 2dF Galaxy Redshift Survey: the environmental dependence of galaxy star formation rates near clusters. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 334 (2002), August
- [97] LUTZ, D. ; STURM, E. ; TACCONI, L. J. ; VALIANTE, E. ; SCHWEITZER, M. ; NETZER, H. ; MAIOLINO, R. ; ANDREANI, P. ; SHEMMER, O. ; VEILLEUX, S.: PAH Emission and Star Formation in the Host of the  $z \sim 2.56$  Cloverleaf QSO. En: *The Astrophysical Journal* 661 (2007), Mai
- [98] MAGORRIAN, J. ; TREMAINE, S. ; RICHSTONE, D. ; BENDER, R. ; BOWER, G. ; DRESSLER, A. ; FABER, S. M. ; GEBHARDT, K. ; GREEN, R. ; GRILLMAIR, C. ; KORMENDY, J. ; LAUER, T.: The Demography of Massive Dark Objects in Galaxy Centers. En: *The Astronomical Journal* 115 (1998), Juni, p. 2285–2305
- [99] MAGORRIAN, J. ; TREMAINE, S. ; RICHSTONE, D. ; BENDER, R. ; BOWER, G. ; DRESSLER, A. ; FABER, S. M. ; GEBHARDT, K. ; GREEN, R. ; GRILLMAIR, C. ; KORMENDY, J. ; LAUER, T.: The Demography of Massive Dark Objects in Galaxy Centers. En: *The Astronomical Journal* 115 (1998), Juni
- [100] MAIOLINO, R. ; RUIZ, M. ; RIEKE, G. H. ; PAPADOPOULOS, P.: Molecular Gas, Morphology, and Seyfert Galaxy Activity. En: *The Astrophysical Journal* 485 (1997), August

- [101] MAIOLINO, R. ; SHEMMER, O. ; IMANISHI, M. ; NETZER, H. ; OLIVA, E. ; LUTZ, D. ; STURM, E.: Dust covering factor, silicate emission, and star formation in luminous QSOs. En: *Astronomy & Astrophysics* 468 (2007), p. 979–992
- [102] MASON, R. E. ; LEVENSON, N. A. ; SHI, Y. ; PACKHAM, C. ; GORJIAN, V. ; CLEARY, K. ; RHEE, J. ; WERNER, M.: The Origin of the Silicate Emission Features in the Seyfert 2 Galaxy NGC 2110. En: *The Astrophysical Journal Letters* 693 (2009), März
- [103] MELÉNDEZ, M. ; KRAEMER, S. B. ; ARMENTROUT, B. K. ; DEO, R. P. ; CRENSHAW, D. M. ; SCHMITT, H. R. ; MUSHOTZKY, R. F. ; TUELLER, J. ; MARKWARDT, C. B. ; WINTER, L.: New Indicators for AGN Power: The Correlation between [O IV] 25.89  $\mu\text{m}$  and Hard X-Ray Luminosity for Nearby Seyfert Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 682 (2008)
- [104] MELÉNDEZ, M. ; KRAEMER, S. B. ; SCHMITT, H. R. ; CRENSHAW, D. M. ; DEO, R. P. ; MUSHOTZKY, R. F. ; BRUHWEILER, F. C.: Constraining the Active Galactic Nucleus Contribution in a Multiwavelength Study of Seyfert Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 689 (2008), Dezember
- [105] METCALFE, L. ; STEEL, S. J. ; BARR, P. ; CLAVEL, J. ; DELANEY, M. ; GALLAIS, P. ; LAUREIJS, R. J. ; LEECH, K. ; MCBREEN, B. ; OTT, S. ; SMITH, N. ; HANLON, L.: ISO observations of Wolf-Rayet galaxy Haro 3. 315 (1996), November
- [106] MILLER, J. S. ; ANTONUCCI, R. R. J.: Evidence for a highly polarized continuum in the nucleus of NGC 1068. En: *Astrophysical Journal* 271 (1983), August
- [107] MIZUTANI, K. ; SUTO, H. ; MAIHARA, T.: 3.3 micron emission feature in infrared galaxies. En: *Astrophysical Journal*, 421 (1994), Februar
- [108] MUSHOTZKY, title = "Suppermassive Black Holes in the Distant Universe" journal = A.J year = 2004 volume = 53:
- [109] NETZER, H.: *The Physics and Evolution of Active Galactic Nuclei*. 2013
- [110] NORMAN, C. ; SCOVILLE, N.: The evolution of starburst galaxies to active galactic nuclei. En: *Astrophysical Journal* 332 (1988), September
- [111] OSTERBROCK, D. E. ; KOSKI, A. T.: NGC 4151 and Markarian 6 - two intermediate-type Seyfert galaxies. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 176 (1976), August
- [112] OSTLIE, D. A. ; CARROLL, B. W.: *An Introduction to Modern Stellar Astrophysics*. 1996

- 
- [113] PEETERS, E. ; SPOON, H. W. W. ; TIELENS, A. G. G. M.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons as a Tracer of Star Formation? En: *The Astrophysical Journal* 613 (2004), Oktober
- [114] PÉREZ GARCÍA, A. M. ; RODRÍGUEZ ESPINOSA, J. M.: A Far-Infrared Study of the CfA Seyfert Sample. I. The Data. En: *The Astrophysical Journal* 557 (2001), August
- [115] PEREZ GARCIA, A. M. ; RODRIGUEZ ESPINOSA, J. M. ; SANTOLAYA REY, A. E.: The Mid- and Far-Infrared Spectral Energy Distribution of Seyfert Galaxies. En: *Astrophysical Journal* 500 (1998), Juni, p. 685
- [116] PETERSON, B. M. ; FERRARESE, L. ; GILBERT, K. M. ; KASPI, S. ; MALKAN, M. A. ; MAOZ, D. ; MERRITT, D. ; NETZER, H. ; ONKEN, C. A. ; POGGE, R. W. ; VESTERGAARD, M. ; WANDEL, A.: Central Masses and Broad-Line Region Sizes of Active Galactic Nuclei. II. A Homogeneous Analysis of a Large Reverberation-Mapping Database. En: *The Astrophysical Journal* (2004)
- [117] PETERSON B, .: An Introduction to Active Galactic Nuclei. (1997)
- [118] PETROSIAN, A. R.: On the connection between Seyfert galaxies and neighboring objects. En: *Astrofizika* 18 (1982), Oktober
- [119] PIER, E. A. ; KROLIK, J. H.: Infrared spectra of obscuring dust tori around active galactic nuclei. I - Computational method and basic trends. En: *Astrophysical Journal* 401 (1992), Dezember
- [120] PIER, E. A. ; KROLIK, J. H.: Infrared Spectra of Obscuring Dust Tori around Active Galactic Nuclei. II. Comparison with Observations. En: *Astrophysical Journal* 418 (1993), Dezember
- [121] PILAR ESQUEJ: NUCLEAR STAR FORMATION ACTIVITY AND BLACK HOLE ACCRETION IN NEARBY SEYFERT GALAXIES. En: *Astrophysical Journal* 12 (2013)
- [122] POGGE, R. W.: Ionized gas in the nuclear regions of nearby non-Seyfert spiral galaxies. En: *Astrophysical Journal Supplement Series* 71 (1989), November
- [123] PRESS, W. H. ; TEUKOLSKY, S. A. ; VETTERLING, W. T. ; FLANNERY, B. P.: *Numerical recipes in C. The art of scientific computing*. 1992
- [124] PRIETO, M. A. ; VIEGAS, S. M.: On the Ionizing Continuum in Active Galactic Nuclei: Clues from the Infrared Space Observatory. En: *The Astrophysical Journal* 532 (2000), März, p. 238–246

- [125] PUGET, J. L. ; LEGER, A. ; BOULANGER, F.: Contribution of large polycyclic aromatic molecules to the infrared emission of the interstellar medium. 142 (1985)
- [126] RAMOS, Almeida C.: *Actividad Nuclear y Formación Estelar en Galaxias.*, Universidad de la Laguna, Tesis de Doctorado, 2009
- [127] RAMOS ALMEIDA, C. ; PÉREZ GARCÍA, A. M. ; ACOSTA-PULIDO, J. A.: Near-Infrared Spectroscopy of Seyfert Galaxies. Nuclear Activity and Stellar Population. En: *The Astrophysical Journal* 694 (2009), April
- [128] REES, M. J. ; SILK, J. I. ; WERNER, M. W. ; WICKRAMASINGHE, N. C.: Infrared Radiation from Dust in Seyfert Galaxies. En: *Nature, Volume 223, Issue 5208, pp. 788-791 (1969).* 223 (1969), p. 788–791
- [129] RICHARDS, G. T. ; BRUNNER, R. ; GRAY, A. ; LACY, M. ; MYERS, A. ; NICHOL, R. ; RIEGEL, R.: Bayesian Quasar Classification in the Optical/Mid-IR. En: *American Astronomical Society Meeting Abstracts* Vol. 38, 2006
- [130] RIEKE, G. H. ; LEBOSKY, M. J.: Infrared emission of extragalactic sources. En: *In: Annual review of astronomy and astrophysics* 17 (1979)
- [131] RIEKE, G. H. ; LEBOSKY, M. J.: Spectral components of NGC 4151. En: *Astrophysical Journal*, 250 (1981), November
- [132] RIFFEL, R. ; RODRÍGUEZ-ARDILA, A. ; PASTORIZA, M. G.: A 0.8-2.4  $\mu\text{m}$  spectral atlas of active galactic nuclei. En: *Astronomy and Astrophysics* 457 (2006), Oktober
- [133] ROCHE, P. F. ; AITKEN, D. K. ; SMITH, C. H. ; WARD, M. J.: An atlas of mid-infrared spectra of galaxy nuclei. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 248 (1991), Februar
- [134] RODRÍGUEZ-ARDILA, A. ; CONTINI, M. ; VIEGAS, S. M.: The continuum and narrow-line region of the narrow-line Seyfert 1 galaxy Mrk 766. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 357 (2005), Februar
- [135] RODRIGUEZ-ARDILA, A. ; PRIETO, M. A. ; VIEGAS, S. ; GRUENWALD, R.: Outflows of Very Ionized Gas in the Centers of Seyfert Galaxies: Kinematics and Physical Conditions. En: *The Astrophysical Journal* 653 (2006), Dezember, p. 1098–1114
- [136] RODRIGUEZ-ARDILA, A. ; VIEGAS, S. M. ; PASTORIZA, M. G. ; PRATO, L.: Near-Infrared Coronal Lines in Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 579 (2002), November, p. 214–226
- [137] ROWAN-ROBINSON, M.: A new model for the infrared emission of quasars. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 272 (1995), Februar

- [138] RUDY, R. J. ; LYNCH, D. K. ; MAZUK, S. ; VENTURINI, C. C. ; PUETTER, R. C. ; HAMANN, F.: Markarian 478: A Second Seyfert Galaxy with 1 Micron Fe II Emission Lines. En: *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 113 (2001), August
- [139] RUDY, R. J. ; MAZUK, S. ; PUETTER, R. C. ; HAMANN, F.: The 1 Micron Fe II Lines of the Seyfert Galaxy I Zw 1. En: *The Astrophysical Journal* 539 (2000), August
- [140] SANDAGE, A.: Star formation rates, galaxy morphology, and the Hubble sequence. En: *Astronomy and Astrophysics* 161 (1986), Juni
- [141] SANDERS, D. B. ; MIRABEL, I. F.: Luminous Infrared Galaxies. En: *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 34 (1996), p. 749
- [142] SEARLE, L. ; SARGENT, W. L. W. ; BAGNUOLO, W. G.: The History of Star Formation and the Colors of Late-Type Galaxies. En: *Astrophysical Journal* 179 (1973), Januar
- [143] SEYFERT, C. K.: Nuclear Emission in Spiral Nebulae. En: *Astrophysical Journal* 97 (1943), Januar, p. 28
- [144] SHEMMER, O. ; UTTLEY, P. ; NETZER, H. ; MCHARDY, I. M.: Complex optical-X-ray correlations in the narrow-line Seyfert 1 galaxy NGC 4051. En: *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society* 343 (2003), August
- [145] SHI, L. ; GU, Q. S. ; PENG, Z. X.: Circumnuclear star-forming activities along the Hubble sequence. En: *Astronomy and Astrophysics* 450 (2006), April
- [146] SMITH, A. M. ; CORNETT, R. H.: Middle-ultraviolet photometry of Virgo cluster galaxies. En: *Astrophysical Journal*, 261 (1982), Oktober
- [147] SOIFER, B. T. ; NEUGEBAUER, G. ; HOUCK, J. R.: The IRAS view of the extragalactic sky. En: *Astrophysics* 25 (1987), p. 187–230
- [148] SPOON, H. W. W. ; MARSHALL, J. A. ; HOUCK, J. R. ; ELITZUR, M. ; HAO, L. ; ARMUS, L. ; BRANDL, B. R. ; CHARMANDARIS, V.: Mid-Infrared Galaxy Classification Based on Silicate Obscuration and PAH Equivalent Width. En: *The Astrophysical Journal* 654 (2007), Januar
- [149] SPRINGEL, V. ; DI MATTEO, T. ; HERNQUIST, L.: Modelling feedback from stars and black holes in galaxy mergers. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 361 (2005), August, p. 776–794
- [150] STEIDEL, C. C. ; GIAVALISCO, M. ; PETTINI, M. ; DICKINSON, M. ; ADELBERGER, K. L.: Spectroscopic Confirmation of a Population of Normal Star-forming Galaxies at Redshifts  $Z = 3$ . En: *Astrophysical Journal Letters* 462 (1996), Mai



- [151] STERN, D. ; EISENHARDT, P. ; GORJIAN, V. ; KOCHANNEK, C. S. ; CALDWELL, N. ; EISENSTEIN, D. ; BRODWIN, M. ; BROWN, M. J. I. ; COOL, R. ; DEY, A. ; GREEN, P. ; JANNUZI, B. T. ; MURRAY, S. S. ; PAHRE, M. A. ; WILLNER, S. P.: Mid-Infrared Selection of Active Galaxies. En: *The Astrophysical Journal* 631 (2005), September, p. 163–168
- [152] STURM, E. ; SCHWEITZER, M. ; LUTZ, D. ; CONTURSI, A. ; GENZEL, R. ; LEHNERT, M. D. ; TACCONI, L. J. ; VEILLEUX, S. ; RUPKE, D. S. ; KIM, D.-C. ; STERNBERG, A. ; MAOZ, D. ; LORD, S. ; MAZZARELLA, J. ; SANDERS, D. B.: Silicate Emissions in Active Galaxies: From LINERs to QSOs. En: *The Astrophysical Journal* 629 (2005), August
- [153] TELESCO, C. M. ; HARPER, D. A.: Galaxies and far-infrared emission. En: *Astrophysical Journal*, 235, Januar
- [154] TERLEVICH, E. ; DIAZ, A. I. ; TERLEVICH, R.: On the behaviour of the IR CA II triplet in normal and active galaxies. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 242, Januar
- [155] TINSLEY, B. M.: Evolution of the Stars and Gas in Galaxies. En: *Astrophysical Journal* 151 (1968), Februar, p. 547
- [156] TREMAINE, S. ; GEBHARDT, K. ; BENDER, R. ; BOWER, G. ; DRESSLER, A. ; FABER, S. M. ; FILIPPENKO, A. V. ; GREEN, R. ; GRILLMAIR, C. ; HO, L. C. ; KORMENDY, J. ; LAUER, T. R. ; MAGORRIAN, J. ; PINKNEY, J. ; RICHSTONE, D.: The Slope of the Black Hole Mass versus Velocity Dispersion Correlation. En: *The Astrophysical Journal* 574 (2002), August
- [157] URRY, C. M. ; PADOVANI, P.: Unified Schemes for Radio-Loud Active Galactic Nuclei. En: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 107 (1995), September
- [158] VAN DER KRUIT, P. C.: Observations of core sources in Seyfert and normal galaxies with the Westerbork synthesis radio telescope at 1415 MHz. En: *Astronomy and Astrophysics*, 15 (1971), p. 110–122
- [159] VEILLEUX, S.: The Starburst-AGN Connection. En: TACCONI, L. (Ed.) ; LUTZ, D. (Ed.): *Starburst Galaxies: Near and Far*, 2001, p. 88
- [160] VEILLEUX, S. ; OSTERBROCK, D. E.: Spectral classification of emission-line galaxies. En: *Astrophysical Journal Supplement Series (ISSN 0067-0049)* 63 (1987), Februar
- [161] VEILLEUX, S. ; RUPKE, D. S. N. ; KIM, D.-C. ; GENZEL, R. ; STURM, E. ; LUTZ, D. ; CONTURSI, A. ; SCHWEITZER, M. ; TACCONI, L. J. ; NETZER, H. ; STERNBERG, A. ; MIHOS, J. C. ; BAKER, A. J. ; MAZZARELLA, J. M. ; LORD, S. ; SANDERS,

- D. B. ; STOCKTON, A. ; JOSEPH, R. D. ; BARNES, J. E.: Spitzer Quasar and Ulirg Evolution Study (QUEST). IV. Comparison of 1 Jy Ultraluminous Infrared Galaxies with Palomar-Green Quasars. En: *The Astrophysical Journal Supplement* 182 (2009), Juni
- [162] VIGROUX, L. ; MIRABEL, F. ; ALTIERI, B. ; BOULANGER, F. ; CESARSKY, C. ; CESARSKY, D. ; CLARET, A. ; FRANSSON, C. ; GALLAIS, P. ; LEVINE, D. ; MADDEN, S. ; OKUMURA, K. ; TRAN, D.: ISOCAM observations of the Antennae Galaxies. En: *Astronomy and Astrophysics* 315 (1996), November
- [163] VOIT, G. M.: Destruction and survival of polycyclic aromatic hydrocarbons in active galaxies. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 258 (1992), Oktober
- [164] WADDINGTON, I. ; DUNLOP, J. S. ; PEACOCK, J. A. ; WINDHORST, R. A.: The LBDS Hercules sample of mJy radio sources at 1.4 GHz - II. Redshift distribution, radio luminosity function, and the high-redshift cut-off. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 328 (2001), Dezember, p. 882–896
- [165] WEEDMAN, D. W. ; FELDMAN, F. R. ; BALZANO, V. A. ; RAMSEY, L. W. ; SRAMEK, R. A. ; WUU, C.-C.: NGC 7714 - The prototype star-burst galactic nucleus. En: *Astrophysical Journal* 248 (1981), August
- [166] WILKES, B. J. ; HOOPER, E. J. ; MCLEOD, K. K. ; ELVIS, M. S. ; IMPEY, C. D. ; LONSDALE, C. J. ; MALKAN, M. A. ; MCDOWELL, J. C.: The far-infrared continuum of quasars, 1999
- [167] WILLS, K. A. ; TADHUNTER, C. N. ; ROBINSON, T. G. ; MORGANTI, R.: The ultraviolet excess in nearby powerful radio galaxies: evidence for a young stellar component. En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 333 (2002), Juni
- [168] XU, C. ; HACKING, P. B. ; FANG, F. ; SHUPE, D. L. ; LONSDALE, C. J. ; LU, N. Y. ; HELOU, G. ; STACEY, G. J. ; ASHBY, M. L. N.: Emission Features and Source Counts of Galaxies in the Mid-Infrared. En: *The Astrophysical Journal* 508 (1998), Dezember