



***Facultad de Ciencias***

**FORMACIÓN ESTELAR EN CUÁSARES**  
(Star Formation in Quasars)

Trabajo de Fin de Máster  
para acceder al

**MÁSTER EN FÍSICA, INSTRUMENTACIÓN Y  
MEDIOAMBIENTE**

Autor: Enrique Jara Martínez

Director\es: Francisco Carrera

Co-director: Angel Ruiz Camuñas

octubre - 2015

## Agradecimientos

En primer lugar agradecer tanto a Francisco Carrera como a Xavier Barcons por darme no sólo la oportunidad de trabajar con ellos, sino por incentivar mi curiosidad. Sin sus consejos, recomendaciones y paciencia no habría sido posible.

Dar las gracias también a Angel Ruiz Camuñas por facilitarme el *software* con el que realizar las SEDs y por responder con ánimo a mis continuas dudas sobre el mismo.

## Resumen

Se han obtenido los flujos a distintas longitudes de onda de una muestra de 43 cuásares no oscurecidos. A partir de la información recogida se han construido las distribuciones espectrales de energía de estos objetos astronómicos, lo que ha permitido obtener las luminosidades correspondientes al infrarrojo lejano y las luminosidades de los núcleos galácticos activos (UV-infrarrojo cercano). De esta manera ha sido posible cuantificar la contribución de la formación estelar y del núcleo galáctico activo a la luminosidad en el infrarrojo lejano.

Hemos podido comprobar, de manera cualitativa la existencia de una relación entre la luminosidad del núcleo activo y la luminosidad en el infrarrojo lejano.

Se ha encontrado que la luminosidad emitida por el material calentado por el núcleo activo no es capaz de generar toda la luminosidad en el infrarrojo lejano, de tal forma que es necesario considerar la emisión del material calentado por la formación estelar.

**Palabras clave:** AGN, cuásar, formación estelar, agujero negro, galaxia.

## Abstract

We have obtained fluxes at various wavelengths for a sample of 43 quasars. Thanks to this information we have been able to build the sources' spectral energy distributions, which has allowed us to obtain the luminosities associated to star formation (in the far infrared) and the luminosities associated to their active galactic nuclei (in the UV-near infrared). This provided information in the contribution of both star formation and the active galactic nucleus to the total luminosity.

We have qualitatively established that there is a relationship between active nuclei luminosity and the luminosity in the far infrared.

It has been found that the luminosity associated to the material heated by the active nuclei is not able to explain all the luminosity in the far infrared, therefore it is necessary to consider the material heated by star formation.

**Key Words:** AGN, quasar, star formation, black hole, galaxy.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	1
<b>2. Núcleos Galácticos Activos</b>	<b>3</b>
2.1. Características de emisión . . . . .	4
2.2. Modelo unificado . . . . .	6
<b>3. Coevolución de galaxias y AGNs</b>	<b>9</b>
3.1. Mecanismos de retroalimentación . . . . .	9
<b>4. Desarrollo</b>	<b>12</b>
4.1. Obtención de datos . . . . .	12
4.2. Proceso de análisis . . . . .	13
<b>5. Resultados y análisis</b>	<b>15</b>
<b>6. Discusión</b>	<b>20</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>21</b>
<b>8. Referencias</b>	<b>22</b>
<b>Apéndice</b>	<b>24</b>

# 1. Introducción

Los núcleos galácticos activos (AGN) son los objetos más brillantes que podemos encontrar observando el universo. Esto se debe a la acreción de materia a un agujero negro supermasivo en su centro. Si bien todas las galaxias masivas cuentan con un agujero negro supermasivo en su centro, este no siempre está activo. Nuestra galaxia por ejemplo contiene un agujero negro en su núcleo pero su actividad es muy baja.

A la hora de estudiar el crecimiento galáctico hay que considerar que la masa del agujero negro supermasivo de su núcleo se relaciona con la masa de la galaxia, sin embargo este no es el único factor importante en su evolución. La masa de la galaxia está estrechamente ligada a la masa de las estrellas que contiene, además a mayor redshift mayor índice de formación de estrellas. En general estas galaxias se encuentran en la secuencia principal, siendo la formación estelar inducida por procesos internos.

Observaciones recientes sugieren que la formación estelar y el AGN no sólo están relacionados con la masa de la galaxia, sino que además se relacionan entre sí. El hecho de que el AGN se alimente del medio interestelar podría afectar a la formación estelar. Algunas evidencias sugieren que mientras que para bajas luminosidades la formación estelar domina sobre el AGN, a altas luminosidades el AGN corta la tasa de formación estelar.

Se han seleccionado 43 cuásares no oscurecidos, de los cuales se ha obtenido información en diferentes longitudes de onda con la intención de obtener sus distribuciones espectrales de energía (SEDs). A partir de sus SEDs se espera averiguar si la relación existente entre la luminosidad del AGN y la luminosidad observada en el infrarrojo lejano, se debe al material calentado por el AGN o al material calentado por la formación estelar.

## 1.1. Objetivos

En este trabajo se estudiará la relación entre el AGN y la formación estelar de la galaxia que los contiene. Para ello se emplean distribuciones espectrales de energía (SEDs) obtenidas juntando datos de distintos catálogos. Las SEDs proporcionan información de las fuentes a lo largo de todo el espectro, de tal forma que podemos discernir entre la contribución infrarroja por parte de la formación estelar y la contribución a lo largo del espectro del AGN.

Empleando como catálogos principales H-ATLAS y SDSS DR12 QSO se obtienen los flujos de las fuentes a distintas longitudes de onda y por tanto se pueden construir las SEDs. Sabiendo que los AGN son luminosos en todo el espectro y que la formación estelar destaca en el infrarrojo lejano, necesitamos información que abarque al menos hasta estas longitudes de onda.

A partir de la información recogida en las SEDs, mediante integración sobre distintas longitudes de onda se obtendrán las luminosidades en las zonas del espectro de interés, de tal forma que seremos capaces de discernir la luminosidad del AGN de aquella asociada a la formación estelar.

Los resultados que obtengamos nos permitirán, comprobar la relación entre la luminosidad del AGN y la luminosidad en el infrarrojo lejano, permitiéndonos estimar la contribución de la acreción sobre el agujero negro supermasivo central a la luminosidad del infrarrojo lejano.

## 2. Núcleos Galácticos Activos

Los AGN son un fenómeno energético en el núcleo de las galaxias que no puede ser atribuido a estrellas[16]. Su principal característica es que son muy luminosos en todo el espectro. Existen distintos tipos de AGN, pero las dos subclases más abundantes son las galaxias tipo Seyfert y los cuásares, cuya principal diferencia reside en la cantidad de radiación que emiten (los Seyfert más luminosos son indistinguibles de algunos cuásar).

Una de las características más interesantes de los cuásares es su variabilidad en todas las longitudes de onda en los que se les ha estudiado, no sólo en el continuo, sino también en las líneas de emisión. Al ser una característica tan importante, fue muy estudiada tras el descubrimiento de los primeros cuásares. Algunos variaban su magnitud en 0.3-0.5 en cuestión de meses. Se concluyó que gran parte de la radiación debía venir de una región con un tamaño de unos pocos días luz ( $1 \text{ día luz} = 2,54 \cdot 10^{15} \text{ cm}$ ). Es decir que un núcleo del tamaño del sistema solar llegaba a emitir cientos de veces más energía que una galaxia entera.

Otro factor interesante que se observó después de su descubrimiento, fue la forma de su espectro de emisión. Una fracción importante de su radiación electromagnética no puede ser atribuida a un espectro térmico. Esto los distinguía de estrellas, cuyo espectro sí se asemeja a un cuerpo negro. El hecho de que además tuviesen un corrimiento al rojo más grande que las galaxias catalogadas a mediados del siglo pasado del firmamento implicaba que la luminosidad de estas fuentes tan lejanas debería de ser enorme. Esta característica, junto a la variabilidad y la gran emisión en pequeñas escalas, eran evidencias de que la energía de los cuásares era consecuencia de la acreción de un agujero negro supermasivo.

La acreción resulta muy eficiente a la hora de transformar materia en energía. El polvo y el gas de la galaxia caen al agujero negro supermasivo, formando un disco de acreción debido a la conservación del momento angular. En este disco la energía potencial se convierte en calor (por fricción y otros procesos) que calienta el material que, a su vez, emite radiación.

Hasta donde se sabe, todas las galaxias masivas contienen un agujero negro supermasivo en su centro, sin embargo una vez este ha consumido todo el material a su alrededor, la galaxia deja de ser activa y pasa a ser lo que consideramos una galaxia normal, como sucede con la Vía Láctea.

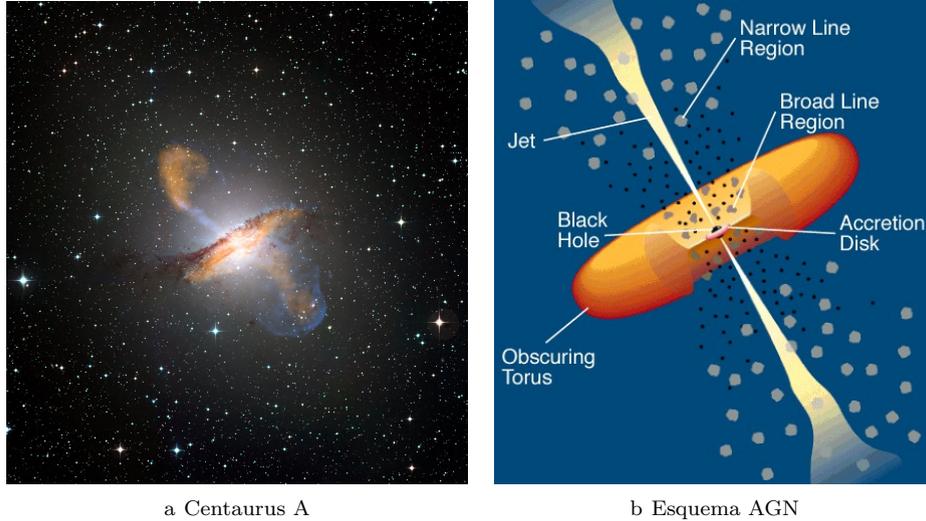


Figura 1: **Izquierda.** Se aprecian los jets (chorros de material expulsado desde las proximidades del agujero negro supermasivo a gran velocidad) de Centaurus A, los cuales emiten en radio y rayos X [24]. **Derecha.** Representación esquemática de un AGN en que se aprecian sus distintas partes [22].

## 2.1. Características de emisión

La distribución espectral de energía (SED) de un AGN puede aproximarse en primer orden a una ley de potencias  $F_\nu = C\nu^{-\alpha}$  con  $0 < \alpha < 1$ . Sin embargo comprender el continuo de un AGN no es una tarea sencilla. Al contrario que las estrellas o las galaxias los AGN emiten a lo largo de todo el espectro, de tal forma que para obtener una SED completa se necesitan distintos catálogos. Las distintas componentes del continuo son causadas bien por radiación directa (emisión térmica, sincrotrón, Bremsstrahlung, ...) o emisión reprocesada (absorción, efecto Compton, reflexión, ...).

Para estudiar la emisión de los AGN se requiere identificar la naturaleza del continuo, de tal forma que es necesario saber qué partes del espectro son de origen térmico (partículas que siguen la distribución de Maxwell-Boltzmann) y cuales no (siguen una ley de potencias). De la misma forma es importante conocer qué cantidad del espectro se corresponde con una emisión primaria y cuanta se debe a una emisión secundaria o reprocesada.

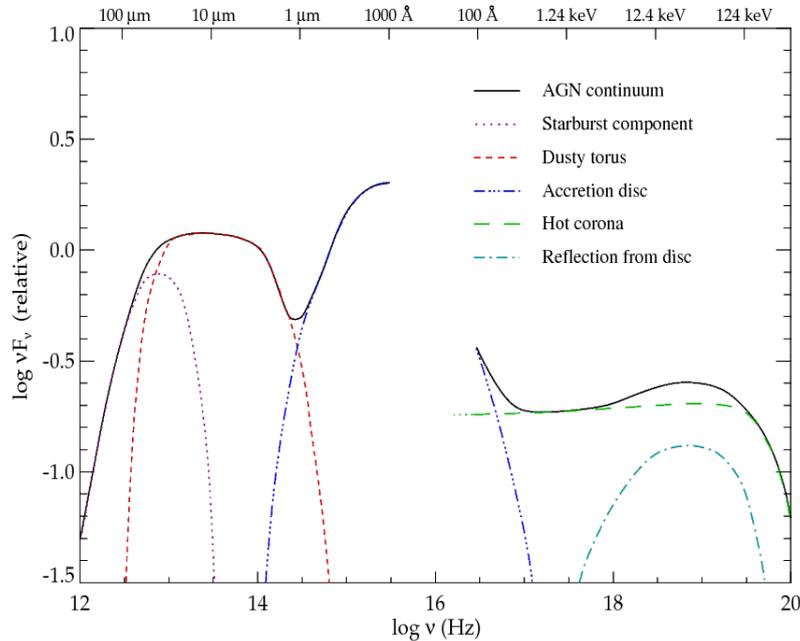


Figura 2: Distribución espacial de energía (SED) típica de un AGN. Se aprecian las distintas componentes de la misma, las cuales vienen explicadas en la leyenda[11].

La característica más importante del continuo UV-Óptico de un AGN es el *big blue bump*, el cual se atribuye a la emisión térmica del disco de acreción que rodea el agujero negro supermasivo. La temperatura de esta emisión se encuentra en el rango de  $T = 10^{5\pm 1}$  K ( $\sim 100$  Å). Para entender la emisión del disco de acreción debemos asumir que la energía se disipa y que localmente el disco radia como un cuerpo negro.

El modelo de disco delgado predice que la mayoría de la radiación observada en una longitud de onda ultravioleta proviene de distintas partes del disco. Su espectro es consecuencia de una superposición de varios cuerpos negros a distinta temperatura, la cual se corresponde con la del disco, y que aumenta según nos acercamos al centro. Esta distribución es la causante de los distintos cuerpos negros, cuya superposición da lugar al *big blue bump* antes mencionado.

El continuo infrarrojo medio es de origen térmico, correspondiéndose la temperatura más alta a la sublimación del polvo. Algunos AGN tienen su emisión en UV fuertemente oscurecida por el polvo. La existencia de un mínimo en torno a  $1 \mu\text{m}$  es debida a la re-radiación de dicho polvo ( $T < 2000$  K).

La emisión en el infrarrojo lejano se debe al polvo templado, ya sea calentado por la emisión directa del disco de acreción, por formación estelar, o por ambos fenómenos.

Este continuo muestra además las mismas variaciones que el UV-óptico salvo que con cierto retraso, el cual se hace más evidente a medida que aumenta la longitud de onda.

La emisión en rayos X de los AGN sigue una ley de potencias debida a efecto Compton inverso de la radiación del disco en una corona de electrones energéticos en la parte más interna del disco, que se ve alterada por el material de las proximidades. El origen de la emisión en radio no es consecuencia de un fenómeno térmico, sino que su origen son los jets del AGN. Según el cociente de la luminosidad en radio frente a luminosidad óptica se pueden diferenciar dos grandes tipos de AGN: radio quiet o radio loud.

La galaxia anfitriona emite además por superposiciones de sus poblaciones estelares. Si el AGN no es muy luminoso esta emisión se puede llegar a detectar.

## 2.2. Modelo unificado

El espectro de los cuásares contiene líneas de emisión muy potentes, como pueden ser líneas correspondientes a la serie de Balmer, o la línea Ly $\alpha$  del hidrógeno. Estas líneas aparecen teóricamente en todos los espectros de cuásar, sin embargo según el redshift de la fuente, algunas de estas líneas pueden no observarse dependiendo de la ventana espectral del detector.

Por un lado se encuentran líneas más anchas que generan en una región conocida como BLR (*Broad Line Region*). La BLR juega un papel fundamental para comprender los AGN debido a su proximidad a la fuente central. La anchura de emisión de estas líneas llega a alcanzar las decenas de miles de km/s.

La región donde se generan las líneas más estrechas se conoce como NLR (*Narrow Line Region*) y resulta de interés ya que aquí la radiación de la fuente central domina sobre otras fuentes. Además la NLR es la única componente del AGN que está resuelta espacialmente en algunos casos y podría proporcionar información sobre el mecanismo de combustión del AGN. Estas líneas espectrales se caracterizan por tener una FWHM del orden de 500 km/s y una mayor cantidad de gas, aunque de menor densidad, que la zona de BLR.

Al observar AGN encontramos que algunos de estos objetos están oscurecidos, mientras que en otros podemos ver todas sus componentes. Esta absorción del continuo y de las líneas de emisión es consecuencia del toroide de polvo caliente (donde se reprocessaría la emisión directa del AGN, dando lugar a la emisión observada en el infrarrojo medio) y las nubes de gas que rodean el agujero negro central.

Esta diferencia observacional en el espectro de los AGN se interpreta en base a un modelo de unificación. En primera instancia este criterio de clasificación se basa en la inclinación relativa de las fuentes. Se puede distinguir entre AGNs tipo 1 con líneas anchas y estrechas en su espectro ya que no están oscurecidos, y AGNs tipo 2 que están oscurecidos y cuentan solamente con líneas estrechas.

La única diferencia aparente entre ambos tipos es que los tipo 1 son observados desde una posición ventajosa, ambas fuentes son esencialmente iguales, según el de unificación.

Si bien este modelo ha sido ampliamente aceptado por la comunidad científica, existen fuentes que invitan a un refinamiento del modelo que contempla distintas características físicas, como podría ser la dependencia en la luminosidad. La figura 3 resume el modelo de unificación para los distintos tipos de AGN.

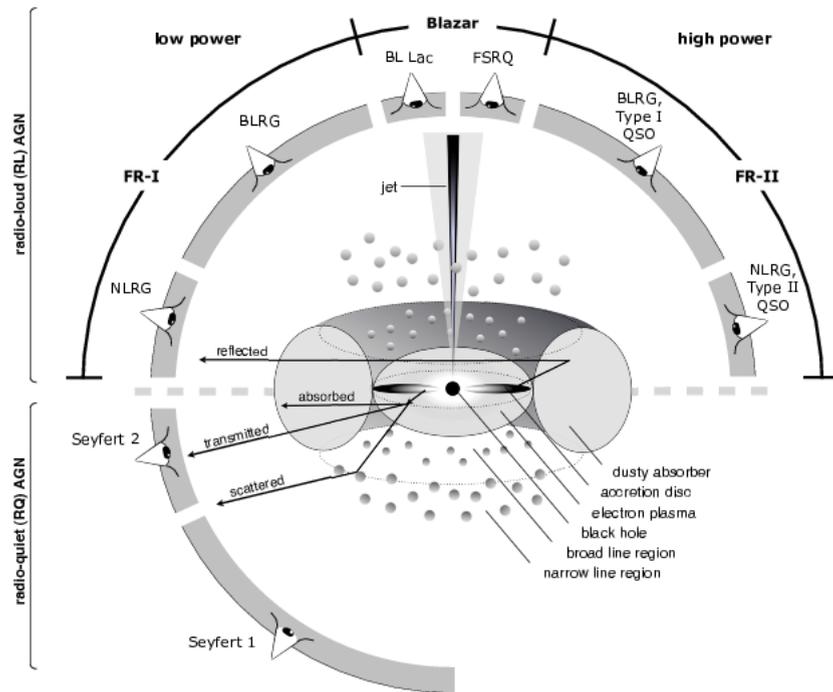


Figura 3: Representación esquemática del modelo de unificación de AGN. El tipo de objeto que se observa depende del ángulo de visión, de si el AGN produce una emisión jet importante y como de energético es el motor central. *Beckmann & Shriver (2012)* [1]; graphic by Marie-Luise Menze.

### 3. Coevolución de galaxias y AGNs

Los agujeros negros no sólo son comunes en las galaxias, sino que además están íntimamente ligados con su ciclo de vida. Se sospecha que todas las galaxias contienen un agujero negro supermasivo (activo o no) en su centro, el cual está relacionado con las propiedades a gran escala de la galaxia que lo contiene. Así mismo, la masa de la galaxia también se relaciona con la masa del agujero negro en su interior, no sólo eso, sino que la actividad nuclear y el agujero negro son una componente fundamental en la evolución de las galaxias.

Es importante conocer el tipo de galaxias que contienen AGNs, al fin y al cabo se necesita alimentar el núcleo con acreción gravitacional durante  $10^8$  años. Calentando y expulsando gas que de otra forma se enfriaría y condensaría formando estrellas [19], esta retroalimentación es capaz de controlar la trayectoria evolutiva de las galaxias que contienen el agujero negro. Esta relación puede describirse por tanto como coevolución.

La acreción de masa por parte de un agujero negro supermasivo y la conversión de gas en estrellas siguen una tendencia similar. Sin embargo no es la única similitud entre ambos: las galaxias más masivas tienen brotes de formación estelar más intensos a alto redshift, mientras que las menos masivas tienen un ritmo de formación estelar más extenso en el tiempo. Esta naturaleza se ve reflejada en el desarrollo de agujeros negros, donde los más masivos es más probable que se conviertan en cuásares intensos. A pesar de todo, esta relación no implica que todas las galaxias con un alto ritmo de formación estelar sean cuásares y viceversa. Sólo apunta a que parece existir una coevolución que regula el sistema galaxia-agujero negro.

La relación entre el crecimiento del AGN y la tasa de formación estelar puede depender de un tercer factor que controle la coevolución de ambos, como puede ser la acreción de gas neutro del medio intergaláctico o fusiones de galaxias. Estos procesos pueden darse simultáneamente sobre los mismos objetos.

#### 3.1. Mecanismos de retroalimentación

La supresión de formación estelar en torno al AGN es importante a la hora de realizar modelos en los que los AGN expulsan el medio interestelar, transformando en poco tiempo cósmico las propiedades de la galaxia. La relación entre formación estelar y el AGN aporta información sobre el tipo

de retroalimentación que termina con la formación estelar, destacando dos tipos de modelos. En ambos modos se tiene en cuenta la energía mecánica expulsada desde las proximidades del agujero negro supermasivo hacia el exterior. El modo-cuásar (modo-radiativo) según el cual el AGN genera vientos que arrastran el medio interestelar y por tanto acaban con la formación estelar. En el modo-radio (modo-jet) el AGN genera chorros colimados de partículas relativistas que evitan que el gas en torno al halo caliente se enfríe y por tanto forme estrellas[2]. Estos últimos fenómenos son mucho más energéticos pero también menos frecuentes.

De acuerdo a algunos modelos, la relación que vemos entre formación estelar y la luminosidad del AGN debería ser del tipo  $L_{SF} \propto L_{AGN}^{0.8}$ [23]. Sin embargo la correlación observada no se corresponde con lo predicho. A pesar de que la relación difiera de una correspondencia 1:1, existe. Una posibilidad es que tanto la formación estelar como el AGN se relacionen con la masa de la galaxia, en lugar de relacionarse entre si. Otra posibilidad es que la relación sea resultado del agrupamiento jerárquico en el universo. Podría ser también que la correlación entre ambos fenómenos no sea simultánea y que la actividad del AGN tenga un retraso con respecto a la formación estelar, el cual sería de unos 80 millones de años [23]. La gran variabilidad de los AGN puede jugar un papel importante a la hora de considerar o no la supresión de formación estelar, ya que las escalas temporales de ambos fenómenos son totalmente distintas.

Que haya fuentes donde la luminosidad del AGN domine sobre la luminosidad de formación estelar, no implica necesariamente que dichas galaxias no estén formando estrellas, sino que no se observa en torno a agujeros negros con luminosidades en los rayos X por encima de  $10^{44}$  erg/s, donde los objetos se encuentran en el pico de acreción. De acuerdo con Page et al. (2010) [12], para fuentes con un redshifts entre  $1 < z < 3$ , aquellas con una luminosidad en rayos X  $L_x \sim 10^{43} - 10^{44}$  erg/s la formación estelar es de  $214 \pm 25 M_{\odot}/\text{año}$ , mientras que para aquellas con  $L_x > 10^{44}$  erg/s es de  $65 \pm 18 M_{\odot}/\text{año}$ .

Rovilos et al. (2012)[17] encuentra una correlación ( $>99\%$ ) entre la luminosidad en rayos X de los AGN y la formación estelar a partir del estudio de una muestra profunda de GOODS-XMM-Newton-Herschel. Khan-Ali et al. (2015)[7] comprueban los resultados obtenidos por Rovilos et al., encontrando que la relación existente es significativa  $93\%$ , concluyendo que la correlación puede ser tomada como evidencia de la evolución conjunta del AGN y la galaxia.

Este trabajo se centra en estudiar la relación entre la luminosidad observada del AGN y la luminosidad observada en el infrarrojo lejano, de tal forma que seamos capaces de determinar si la correlación existente entre ambas se debe al material calentado por el AGN a escalas galácticas o al material calentado por la formación estelar a esas mismas escalas.

## 4. Desarrollo

### 4.1. Obtención de datos

Para estudiar la relación entre la formación estelar y el AGN de las galaxias, nos fijamos en la emisión en el infrarrojo lejano de los AGN. Para ello empleamos el catálogo más grande y uniforme de este tipo de fuentes, así como la zona más grandes con observaciones en esa longitud de onda, de tal forma que las fuentes comunes que se encuentren, son las ideales para realizar nuestro trabajo.

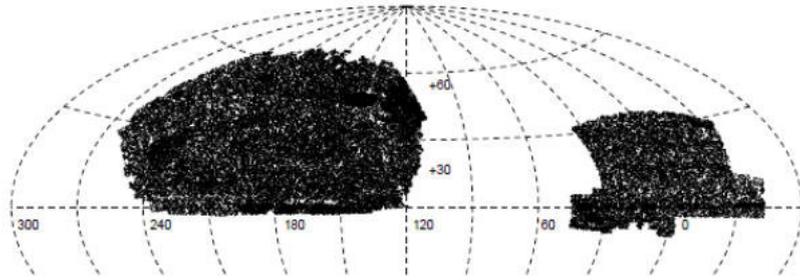


Figura 4: Distribución espacial en coordenadas ecuatoriales de SDSS DR12 data release quasars [14].

Nuestro punto de partida ha sido la fase tres de la primera versión del catálogo de H-ATLAS en los campos GAMA (*Galaxy and Mass Assembly*) y el catálogo SDSS DR12 QSO. *Herschel ATLAS*[5][4][15] realiza un mapeado del cielo en cinco bandas submilimétricas (100, 160, 250, 350, 500  $\mu\text{m}$ ). La versión del catálogo de SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) empleada identifica cuásares en cinco colores fotométricos ( $u, g, r, i, z$ ; 3543, 4770, 6231, 7625, 9138  $\text{\AA}$ ).

Correlacionando con TopCat ambos catálogos se ha obtenido en primer lugar 133 fuentes, sin embargo tras realizar una selección de calidad de acuerdo a aquellas fuentes que el catálogo consideraba como poco fiables debido a su redshift, el número final de cuásares tipo 1 obtenidos es de 46.

Para completar nuestra muestra se ha obtenido información en otras longitudes de onda a partir de otros catálogos. Algunos de estos datos se incluyen dentro del propio catálogo de SDSS como es el caso de UKIDSS (*UKIRT Infrared Deep Sky Survey*), el cual realiza un estudio infrarrojo del cielo profundo con cinco bandas (ZYJHK) entre 0.83 y 2.37  $\mu\text{m}$ . El catálogo de unWISE contiene imágenes fotométricas en cinco bandas del infrarrojo

(3.4, 4.6, 12 y 22  $\mu\text{m}$  de WISE (*Wide Field Infrared Survey Explorer*) sobre los centroides de SDSS.

El catálogo final es de 43 cuásares tipo 1, puesto que los catálogos con los que se han realizado los cruces no aportaban información sobre tres de los objetos seleccionados previamente. Además se ha realizado una inspección visual del espectro de todas las fuentes para comprobar que efectivamente se trata a cuásares tipo 1.

Una vez hemos juntado todos los catálogos hemos extraído los flujos y sus errores de las distintas fuentes, así como su identificador y redshift. En algunos casos los catálogos proporcionaban la magnitud en lugar del flujo, de tal forma que ha sido necesario aplicar la ecuación 4.1 si la magnitud estaba en el sistema AB o la ecuación 4.2 si se trataba del sistema vega.

$$F_{\nu}(Jy) = 10^{23-(m_{AB}+48,6)/2,5} \quad (4.1)$$

$$F_{\nu}(Jy) = F_{\nu_0} \cdot 10^{-m_{vega}/2,5} \quad (4.2)$$

Siendo  $F_{\nu_0}$  un valor asociado a cada filtro. Los flujos vienen expresados en Janskys (Jy), donde  $1Jy = 10^{-26} \frac{W}{m^2Hz}$ .

## 4.2. Proceso de análisis

Para trabajar con los datos se ha creado un fichero por cada fuente donde se recogen los flujos y sus errores para las distintas frecuencias, además se cuenta con un fichero adicional con el redshift de todas las fuentes.

A partir de los datos obtenidos para las frecuencias se puede construir la SED de las fuentes. Para ello se emplea un programa de ajuste desarrollado en Python por Angel Ruiz Camuñas. El programa en cuestión ajusta mediante el método de  $\chi^2$  reducido los datos de acuerdo a diferentes modelos [18].

Se considera una plantilla para la contribución de la galaxia y del disco (y su extinción a lo largo de la visual), las cuales modelan la zona más próxima al visible de las SEDs. Se incluye una plantilla correspondiente al toro ayuda a definir la zona del infrarrojo medio. Otra plantilla incluye la contribución de los brotes de formación estelar que se identifican como un cuerpo gris de un objeto a temperatura 20-60 K[3] en el infrarrojo lejano. la contribución en el infrarrojo del toro y de la formación estelar. Todas estas contribuciones pueden apreciarse en la figura 5.

El programa nos permite también obtener las luminosidades a partir de una integración sobre el modelo de mejor ajuste, teniendo en cuenta las distancias. Para ello se delimita una zona entre una longitud de onda mínima

y una máxima. Como queremos comprobar si la correlación observada entre la luminosidad del AGN y la luminosidad en el infrarrojo lejano se debe al material calentado por el AGN o al material calentado por la formación estelar, las longitudes de onda donde realizamos la integración son  $\lambda_{min} = 40 \mu\text{m}$  -  $\lambda_{max} = 500 \mu\text{m}$  para el infrarrojo lejano,  $L_{FIR}$ . Desde  $\lambda_{min} = 0,1 \mu\text{m}$  hasta el infrarrojo cercano ( $\lambda_{max} = 1 \mu\text{m}$ ) para la contribución del AGN, aquí distinguimos entre  $L_{AGN_{int}}$  que se corresponde con la luminosidad intrínseca del AGN y  $L_{AGN_{obs}}$ , que se corresponde con la luminosidad observada del mismo. La diferencia entre ambas luminosidades nos da la luminosidad absorbida:

$$L_{abs} = L_{AGN_{int}} - L_{AGN_{obs}}, \quad (4.3)$$

la diferencia entre la luminosidad en el infrarrojo lejano y la luminosidad absorbida proporciona la luminosidad residual:

$$L_{FIR_{residual}} = L_{FIR} - L_{abs}. \quad (4.4)$$

Puesto que la longitud de onda se corresponde con la de las fuentes en reposo, debe considerarse el redshift sobre estas longitudes de onda:

$$\lambda = \lambda_0(1 + z), \quad (4.5)$$

Los ajustes  $\chi^2$  suelen ser formalmente malos (debido a usar datos de distintos orígenes) y no se puede usar  $\Delta\chi^2$  para obtener sus incertidumbres, ya que serían demasiado pequeñas. Un tratamiento completo (empleando estadística bayesiana por ejemplo) se escaparía del ámbito de este trabajo.

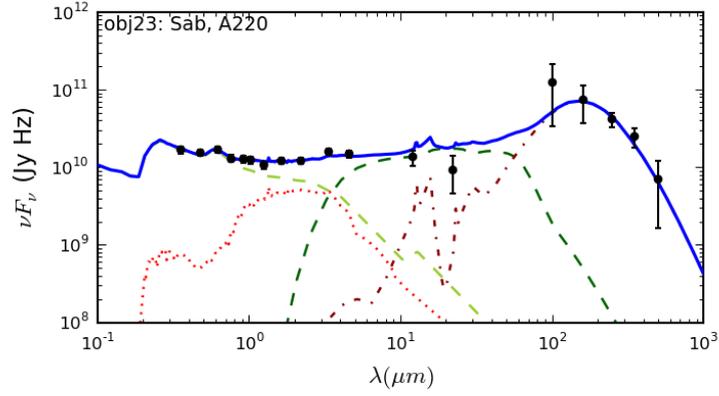
## 5. Resultados y análisis

A partir de los flujos para las distintas longitudes de onda se han obtenido las SEDs de las 43 fuentes. La figura 5 recoge algunas SEDs, el resto se pueden observar en el apéndice. Para apreciar las contribución de las distintas componentes, se ha realizado una comprobación visual de las mismas.

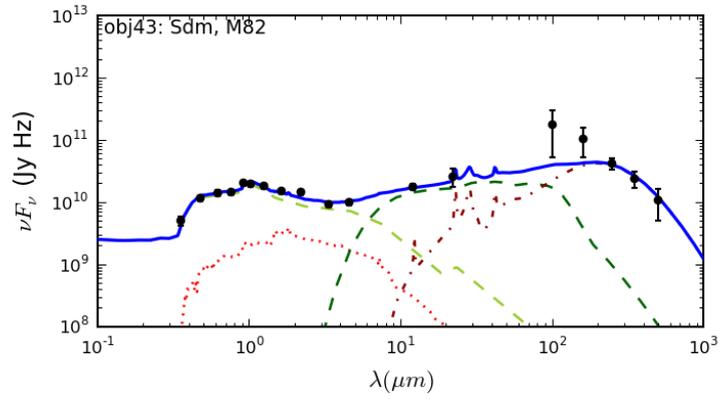
Integrando sobre los modelos de mejor ajuste para las distintas longitudes de onda se han obtenido de las luminosidades de las fuentes. La tabla 1 recoge las luminosidades obtenidas para las 43 fuentes.

Como ya hemos dicho, no se incluye la incertidumbre en las medidas ya que el método utilizado para realizar los ajustes es el  $\chi^2$  reducido, para el cual se obtienen valores muy altos, como consecuencia de que nuestros datos dependen de distintos catálogos con distintos errores cada uno. Debido a esto los valores de  $\Delta\chi^2$  son muy pequeños, más pequeños de lo que serían realmente.

Se ha representado la luminosidad en el infrarrojo lejano frente a la luminosidad absorbida del AGN, de tal forma que podamos comprobar si la contribución en el infrarrojo lejano se debe al material calentado por el AGN. De esta forma consideramos el caso más conservador, donde toda la luminosidad del AGN que es absorbida se podría ver en la contribución del infrarrojo lejano. El hecho de que los puntos azules de la figura 6 estén a la derecha de la línea 1:1, refleja que la luminosidad absorbida por el AGN no es suficiente para proporcionar toda la luminosidad en el infrarrojo lejano, de tal forma que es necesaria la presencia de otro mecanismo aporte luminosidad a estas longitudes de onda.



a Obj23



b Obj43

Figura 5: SEDs de los objetos 23 y 43 de nuestros datos y modelos de mejor ajuste obtenidas a partir del programa de ajuste. La línea azul se corresponde con el ajuste total realizado sobre los puntos. La línea roja de puntos representa el modelo galáctico, la verde clara discontinua el del disco, la verde oscura discontinua la contribución del toro y la granate de puntos y rayas la contribución de brotes de formación estelar.

	ID	z	$L_{FIR}$ $\cdot 10^{45}$ erg/s	$L_{AGN_{obs}}$ $\cdot 10^{45}$ erg/s	$L_{AGN_{int}}$ $\cdot 10^{45}$ erg/s	$L_{AGN_{obs}}$ $\cdot 10^{45}$ erg/s	$L_{AGN_{residual}}$ $\cdot 10^{45}$ erg/s
Obj1	1237673709868417024	1.024	34.11	1.63	25.88	24.25	32.48
Obj2	1237650796216123648	1.878	36.19	0.0	173.31	173.31	36.19
Obj31	1237653665252179968	2.172	36.69	3.76	89.54	85.78	32.93
Obj4	1237653665788592384	1.914	25.13	1.62	22.96	21.35	23.51
Obj5	1237648722284970496	2.295	30.6	3.62	13.25	9.63	26.98
Obj6	12376507962144219968	2.596	38.33	0.0	17.71	17.71	38.33
Obj7	1237673710405287936	1.001	6.13	0.0	9.7	9.7	6.13
Obj8	1237651752382365696	2.483	33.85	0.0	67.05	67.05	33.85
Obj9	1237654604775949056	2.508	30.53	4.25	14.4	10.15	26.28
Obj10	1237650795677614336	0.584	1.37	0.0	0.9	0.9	1.37
Obj11	1237673708794740992	0.611	1.57	0.06	0.93	0.87	1.51
Obj12	1237654599946469632	0.779	3.3	0.13	0.77	0.63	3.17
Obj13	1237674460951216384	2.415	24.09	0.0	32.2	32.2	24.09
Obj14	1237651753453879296	0.782	3.47	0.39	15.9	15.51	3.08
Obj15	1237650796753257216	2.344	16.88	0.44	4.13	3.7	16.44
Obj16	1237671142554403072	0.773	7.45	0.0	1.64	1.64	7.45
Obj17	1237648720695590912	2.683	62.44	56.62	275.65	219.03	5.82
Obj18	1237671129125355776	2.921	59.33	12.87	44.05	31.17	46.45
Obj19	1237648722305155072	2.693	46.87	15.95	168.61	152.66	30.93
Obj20	1237671140943265792	1.981	22.31	1.16	49.09	47.93	21.15
Obj21	1237651752934375936	3.865	70.48	16.83	74.39	57.56	53.65
Obj22	1237648720154198016	2.163	21.86	0.0	33.15	33.15	21.86
Obj23	1237671140407509248	1.052	5.15	0.25	2.41	2.16	4.9
Obj24	1237674649929187840	5.09	104.83	11.33	81.7	70.36	93.5
Obj25	1237651753492414976	0.906	13.62	0.22	1.68	1.46	13.4
Obj26	1237651753489924096	2.121	51.77	0.0	87.7	87.7	51.77
Obj27	1237651752951414784	1.239	13.14	0.0	27.13	27.13	13.14
Obj28	1237648704593068032	1.405	21.46	0.0	25.39	25.39	21.46
Obj29	1237655499743428605	1.916	23.71	0.0	60.15	60.15	23.71
Obj30	1237648704056786944	2.24	37.03	17.8	92.62	74.82	19.23
Obj31	1237655499207868672	2.51	43.08	2.35	42.85	40.5	40.73
Obj32	1237655499205050368	1.762	20.57	0.0	48.35	48.35	20.57
Obj33	1237674601605693696	2.432	36.33	0.09	40.12	40.03	36.24
Obj34	1237648704592675328	1.655	17.4	0.7	3.14	2.44	16.7
obj35	1237651735234019584	3.060	58.24	0.0	25.11	25.11	58.24
Obj36	1237648720173137920	2.305	30.11	0.0	51.55	51.55	30.11
Obj37	1237648704057967104	2.225	23.67	0.38	9.67	9.29	23.29
Obj38	1237655693012501248	2.284	24.37	0.51	2.77	2.25	23.86
Obj39	1237651736310513920	2.21	25.63	2.71	23.9	21.19	22.93
Obj40	1237648721786569216	2.429	25.19	0.0	7.4	7.4	25.19
Obj41	1237651752953184256	2.362	26.24	0.92	15.46	14.54	25.32
Obj42	1237655693548257792	3.66	39.14	4.99	36.52	31.53	34.14
Obj43	1237651735238279424	2.725	28.12	7.8	27.96	20.16	20.32

Tabla 1: La tabla recoge el identificador de las fuentes de acuerdo a SDSS (ID), el redshift de las mismas y sus luminosidades. Las columnas se corresponden con  $L_{FIR}$ ,  $L_{AGN_{obs}}$ ,  $L_{AGN_{int}}$ ,  $L_{AGN_{obs}}$  y  $L_{AGN_{residual}}$ .

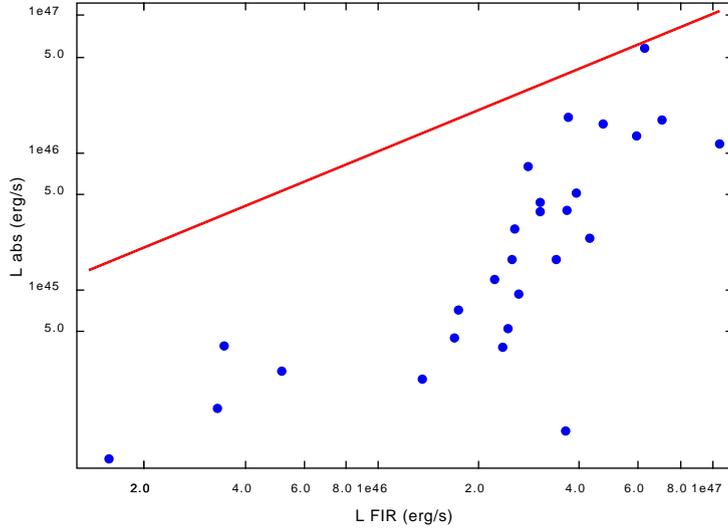


Figura 6: Los puntos azules representan  $L_{AGN_{abs}}$  frente a  $L_{FIR}$ . La línea roja representa el caso 1:1 donde  $L_{FIR} = L_{abs}$ .

Para comprobar la relación entre la luminosidad en el infrarrojo lejano y el AGN, se representa  $L_{AGN_{int}}$  frente a  $L_{FIR}$  y  $AGN_{int}$  frente a  $L_{residual}$ . La contribución residual aportaría información de la contribución de luminosidad que el AGN no es capaz de aportar al infrarrojo lejano. Observando la figura 7 se aprecia cualitativamente que existe correlación entre la luminosidad del AGN y la del infrarrojo lejano, la cual según se ha visto en la figura 6 está asociada mayormente a un fenómeno distinto del AGN, el cual sería la formación estelar.

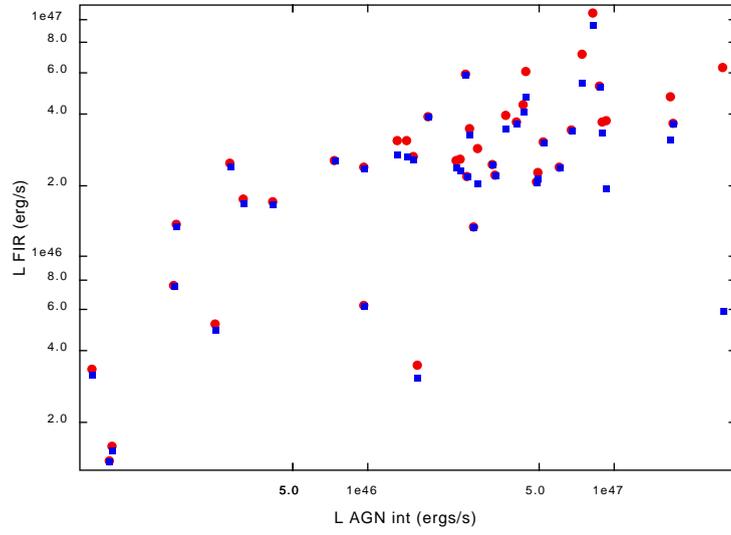


Figura 7: Los puntos azules representan  $L_{AGN_{int}}$  frente a  $L_{residual}$ . Los puntos rojos representan  $L_{AGN_{int}}$  frente a  $L_{FIR}$ .

## 6. Discusión

A través de la figura 6 se ha comprobado la contribución del AGN respecto a la luminosidad en el infrarrojo lejano, obteniendo que en el caso más conservador, donde toda la absorción del AGN es reprocesada en estas longitudes de onda, no es suficiente como para justificar las luminosidades obtenidas.

Por tanto, para nuestros cuásares, la potencia del AGN absorbida por el polvo en la línea de visión no es suficiente para producir todo el infrarrojo lejano observado, de esta forma se descarta la posibilidad de que no se deba a la formación estelar.

Se podría pensar que al no incluir errores el resultado obtenido podría cambiar, sin embargo por inspección visual de la figura 6 se aprecia que la tendencia general es que la emisión en el infrarrojo lejano no depende del AGN. Incluso considerando incertidumbres altas, del 50%, sólo un par de valores caerían por encima de la relación 1:1, de tal forma que esto no afectaría a nuestro resultado.

Una forma de obtener las incertidumbres de manera correcta habría sido mediante un análisis bayesiano, sin embargo esto se alejaba del ámbito de nuestro trabajo.

La correlación entre el AGN y la luminosidad en el infrarrojo lejano observada en la figura 7 es cualitativa. Las fuentes identificadas como cuásares tipo 1 por SDSS no tienen coincidencias con H-ATLAS, de tal forma que no tenemos límites superiores para estas fuentes en el infrarrojo lejano. Es por ello que no hemos calculado lo significativa que es la correlación. Al no saber si faltan más fuentes a altas luminosidades que a bajas, los cuásares no detectados en H-ATLAS podrían cambiar la impresión visual cualitativa de la figura 7. Esto quedaría pendiente para la realización de un trabajo futuro.

## 7. Conclusiones

Se han seleccionado 43 cuásares poco oscurecidos a partir de los catálogos de H-ATLAS y SDSS, la información recogida sobre el flujo en distintas longitudes de onda nos ha permitido construir las SEDs de las fuentes, empleando para ellos modelos de las distintas componentes: la galaxia, el disco, el toro, el AGN, y los brotes de formación estelar.

A partir de los mejores ajustes a los modelos de ha sido posible obtener las luminosidades en el infrarrojo lejano y en el rango UV-Infrarrojo cercano, lo cual nos ha permitido estudiar la relación entre la luminosidad del AGN y la luminosidad observada en el infrarrojo lejano.

La comparativa entre la luminosidad de la componente absorbida del AGN y la luminosidad en el infrarrojo lejano muestra que, en el mejor de los casos, el AGN no es capaz de aportar el total de la luminosidad en esta longitud de onda. Es necesario por tanto la presencia de otro fenómeno como la formación estelar.

De manera cualitativa se aprecia una correlación entre la luminosidad del AGN y la luminosidad en el infrarrojo lejano. Esta relación se debe principalmente al material calentado por la formación estelar, si bien es cierto que el material calentado por el AGN también contribuye.

## Referencias

- [1] Beckmann and Shrader. *The AGN phenomenon: open issues*. 2012. arXiv:1302.1397v1.
- [2] M. Begelman. *AGN Feedback mechanisms*. Recogido en el Carnegie Observatories Symposia: Coevolution of Black Holes and Galaxies. Luis C. Ho. 2003. Cambridge University Press.
- [3] C.M. Casey. *Far-infrared Spectral Energy Distribution Fitting for Galaxies Near and Far*. 2012. arXiv:1206.1595v1.
- [4] C.J. R. Clark et al. *Herschel-ATLAS: The Surprising Diversity of Dust-Selected Galaxies in the Local Submillimetre Universe*. 2015. arXiv:1502.03843v3.
- [5] S. Eales et al. *The Herschel Atlas*. 2009. arXiv:0910.4279v1.
- [6] G. Kauffmann, T. Heckman, C. Tremonti, et al. *The Host Galaxies of AGN*. 2003, MNRAS, 346, 1055.
- [7] A. Khan-Ali, F.J. Carrera et al. *Submm-bright X-ray absorbed QSOs at  $z \sim 2$ : insights into the coevolution of AGN and star-formation*. 2015. arXIV:1501.02095v1.
- [8] D. Lang et al. *WISE photometry for 400 million SDSS sources*. 2014. arXiv:1410.7397v1.
- [9] A. Lawrence et al. *The UKIRT Infrared Deep Sky Survey (UKIDSS)*. 2007. arXiv:astro-ph/0604426v2.
- [10] C. J. Lonsdale et al. *Radio jet feedback and star formation in heavily obscured quasars at redshifts  $\sim 0,5 - 3$ , I: ALMA observations*. 2015. arXiv:1509.00342v2.
- [11] J. Manners. PhD Thesis.
- [12] M. J. Page et al. *The suppression of star formation by powerful active galactic nuclei*. 2012, Nature 485, 213–216.
- [13] Pâris et al. *The Sloan Digital Sky Survey quasar catalog: tenth data release*. 2013. arXiv:1311.4870v1.

- [14] Pâris. *Quasar catalogs from the Sloan Digital Sky Survey*. 2015 (Slides). Visitado en septiembre 2015.
- [15] E. Pascale et al. *The first release of data from the Herschel ATLAS: the SPIRE images*. 2010. arXiv:1010.5782v1.
- [16] B. M. Peterson. *An introduction to active galactic nuclei*. Cambridge University Press, 1997.
- [17] E. Rovilos et al. *GODDS-Herschel: Ultra-deep XMM-Newton observations reveal AGN/star-formation connection*. 2012. arXiv:12077129v1.
- [18] Rowan-Robinson. *A new model for infrared and submillimetre counts*. 2008. arXiv:0812.2609v2.
- [19] K. Schawinski, S. Khochfar, S. Kaviraj, et al. *Suppression of star formation in early-type galaxies by feedback from supermassive black holes*. 2006, Nature, 442, 888.
- [20] K. Schawinski, et al. *Galaxy Zoo: The fundamentally different co-evolution of supermassive black holes and their early- and late-type host galaxies*. 2010. ApJS, 711,1.
- [21] K. Schawinski, D. Thomas, M. Sarzi, et al. *Observational evidence for AGN feedback in early-type galaxies*. 2007, MNRAS, 382, 1415.
- [22] C.M. Urry and P. Padovani. <http://heasarc.gsfc.nasa.gov>. Visitado septiembre 2015.
- [23] L. Xo et al. *The Relation between Luminous AGNs and Star Formation in Their Host Galaxies*. 2015. arXiv:1508.02453v1.
- [24] ESO/WFI (Optical); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Submillimetre); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (X-ray). Visitado septiembre 2015.

# Apéndice

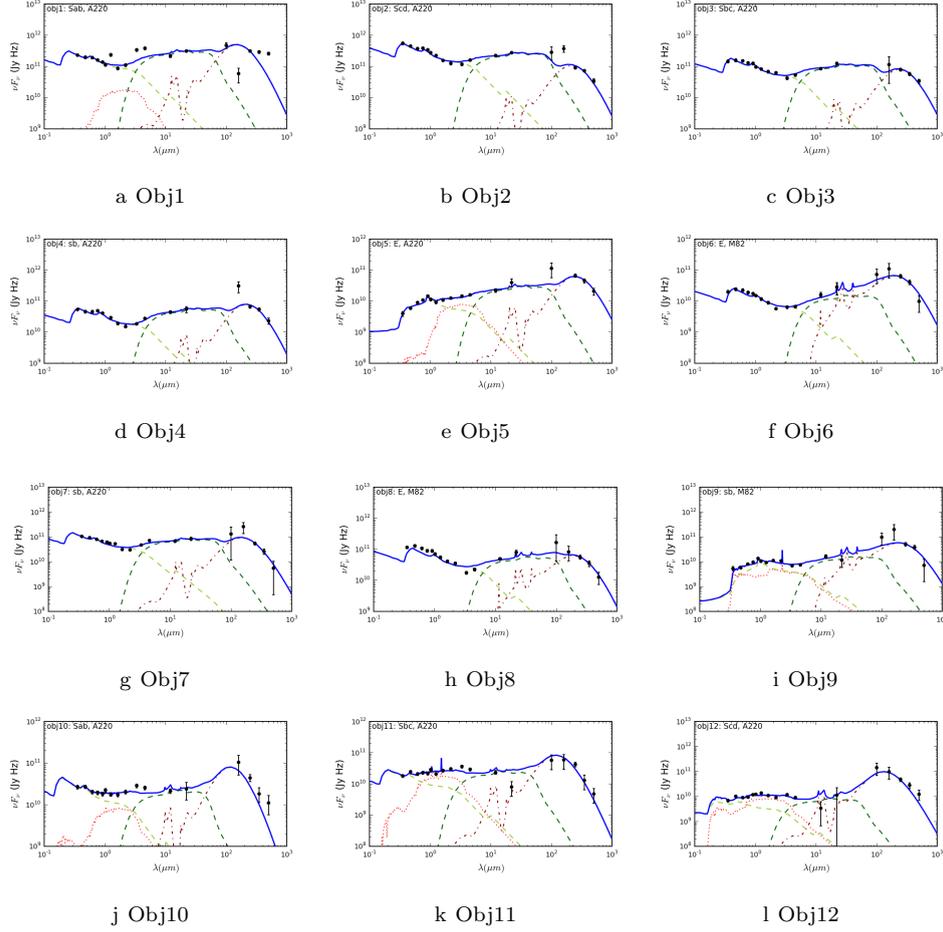


Figura 8: SEDs de los objetos de nuestros datos obtenidas a partir del programa de ajuste. La línea azul se corresponde con el ajuste realizado sobre los puntos. La línea roja de puntos representa el modelo galáctico, la verde claro discontinua el del disco, la verde oscura discontinua la contribución del toro y la granate de puntos y rayas la contribución de brotes de formación estelar.

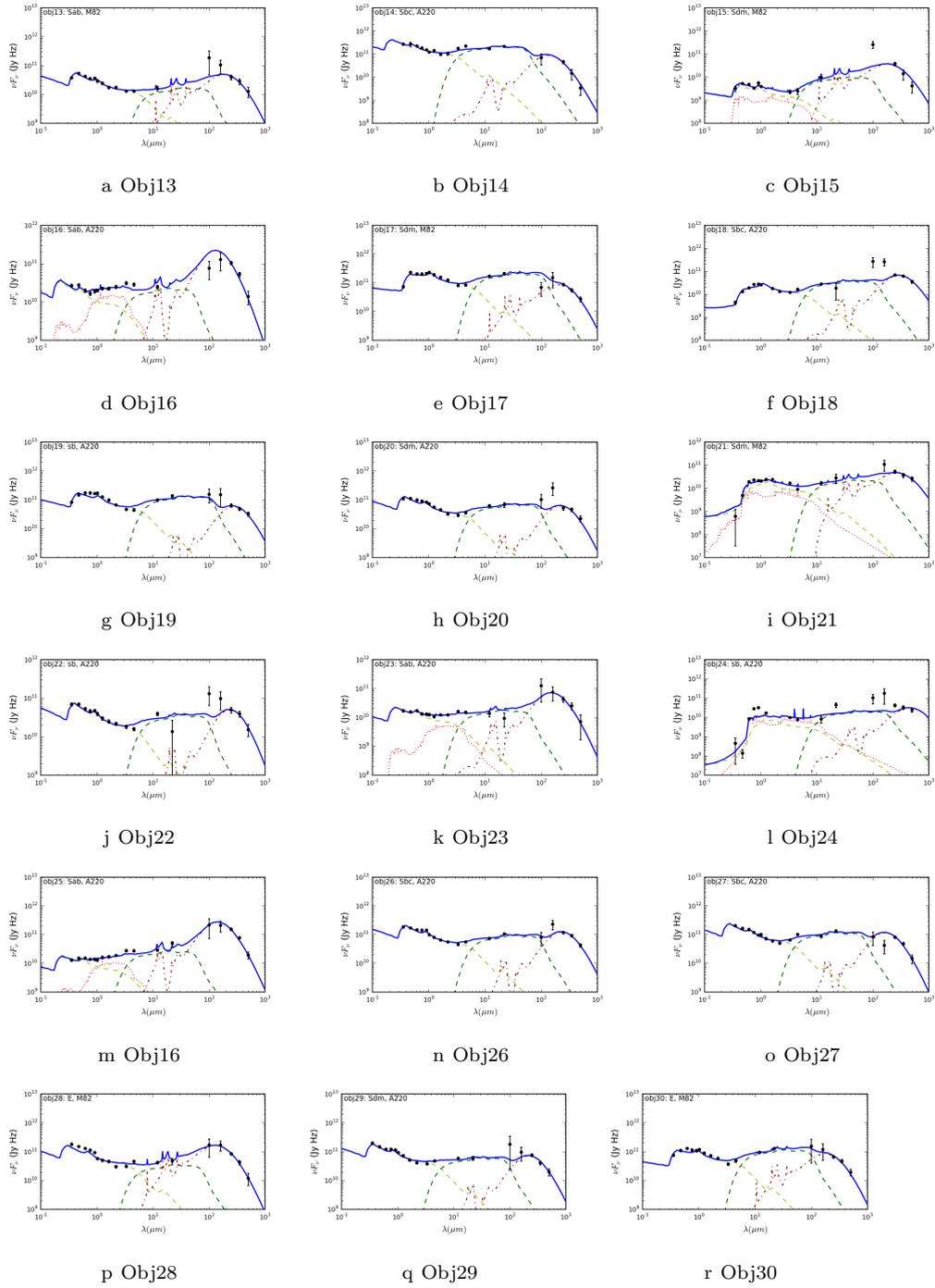


Figura 8: SEDs de los objetos de nuestros datos obtenidas a partir del programa de ajuste. La línea azul se corresponde con el ajuste realizado sobre los puntos. La línea roja de puntos representa el modelo galáctico, la verde claro discontinua el del disco, la verde oscura discontinua la contribución del toro y la granate de puntos y rayas la contribución de brotes de formación estelar.

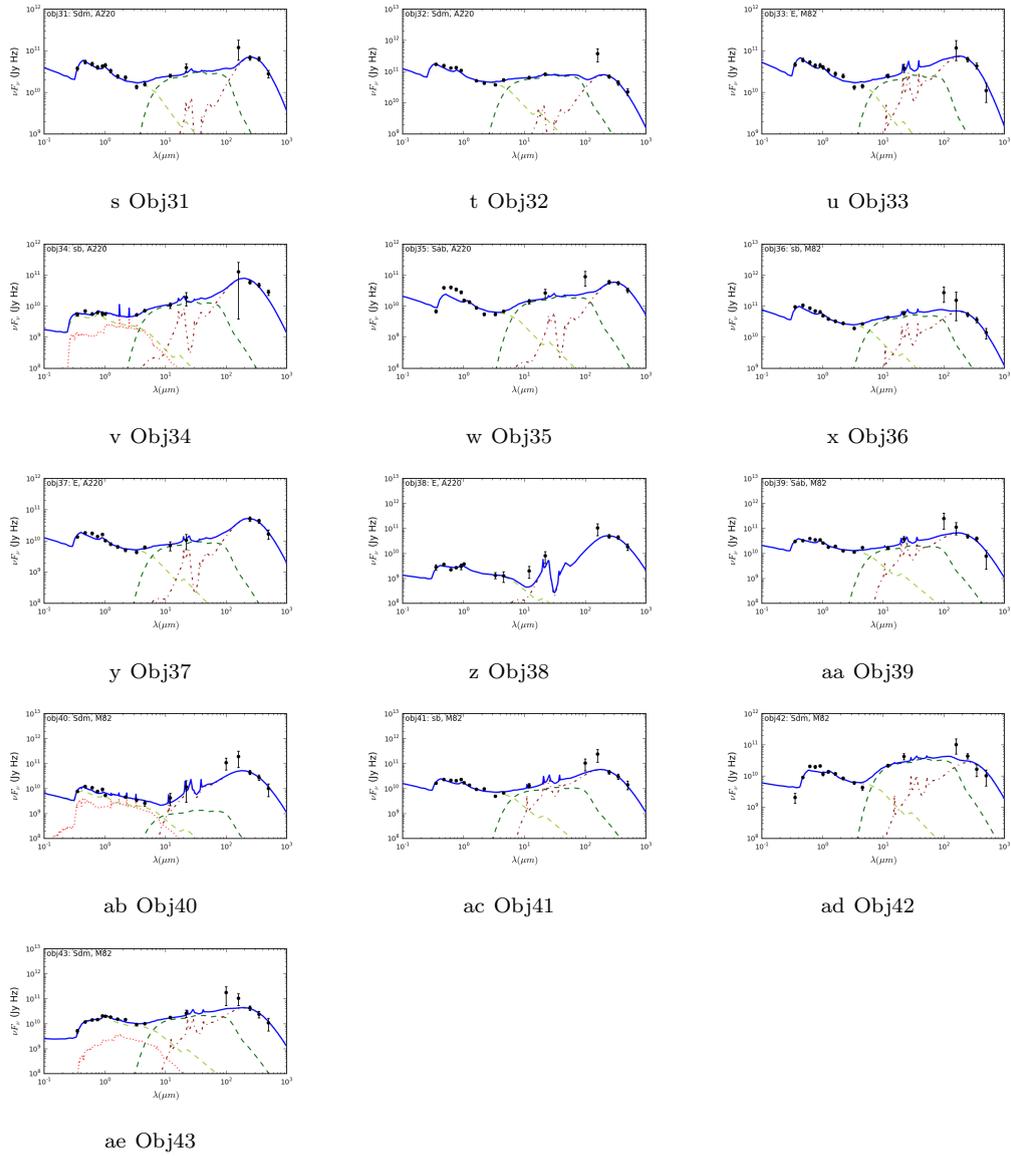


Figura 8: SEDs de los objetos de nuestros datos obtenidas a partir del programa de ajuste. La línea azul se corresponde con el ajuste realizado sobre los puntos. La línea roja de puntos representa el modelo galáctico, la verde claro discontinua el del disco, la verde oscura discontinua la contribución del toro y la granate de puntos y rayas la contribución de brotes de formación estelar.