

# Comparación de modelos físicos de emisión multi-onda de núcleos activos de galaxias a partir de su distribución espectral de energía

Laura Natalia Martínez Ramírez

Grupo de investigación en Relatividad y Gravitación, GIRG, UIS  
European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere  
(ESO) Alemania

Director: Juan Carlos Basto Pineda  
Codirectores: Gabriela Calistro Rivera, Luis Alberto Núñez



# Contenido

**1** Marco teórico

**2** Algoritmo AGNfitter

**3** Planteamiento del problema

**4** Objetivos

**5** Metodología

## Pregunta de investigación

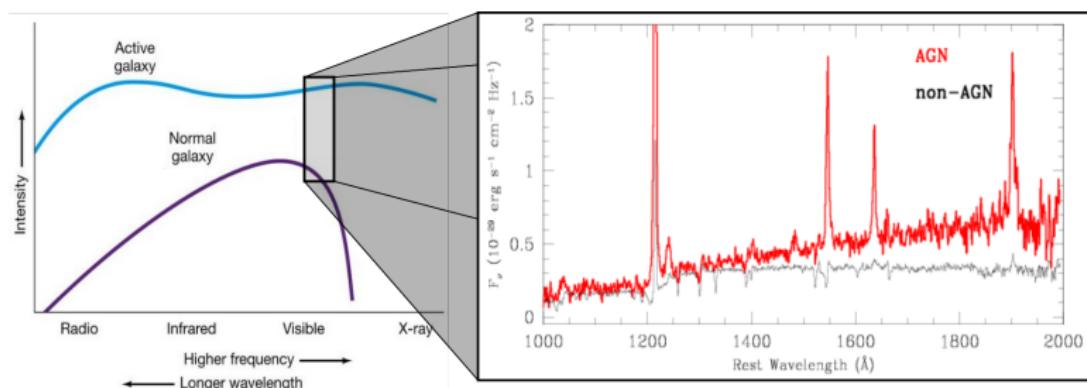
¿Existe una correlación entre las propiedades físicas inferidas de los AGN y los modelos físicos de emisión empleados para ajustar su distribución espectral de energía?

## Marco teórico

## Galaxias activas

## Características

- Espectro de emisión desde radio hasta rayos gamma con líneas anchas.
  - Energía total emitida no es solo por radiación de estrellas.
  - Fuente de energía: acreción de material en el agujero negro supermasivo central<sup>1</sup>



Tomada de: Chaisson, E., & McMillan, S. (2017). Astronomy: a beginner's guide to the universe. Prentice Hall. (izquierda) y Hainline, et al. (2011). The Astrophysical Journal, 733(1), 31. (derecha).

<sup>1</sup> Con temperaturas del gas de alrededor de  $10^5$  [K] y una masa del agujero negro super masivo (SMBH) de entre  $10^6 M_\odot$  y  $10^{10} M_\odot$

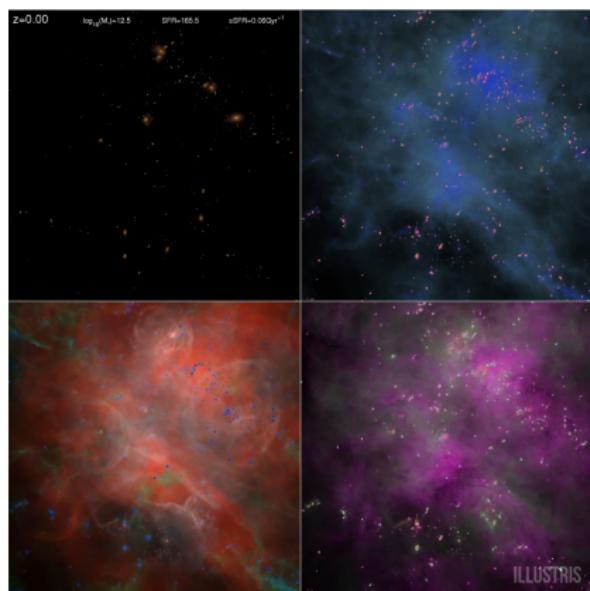
## Núcleos activos de galaxia (AGN)

## ¿Por qué estudiar AGN?

- AGN feedback<sup>2</sup>.
  - Evolución de la galaxia anfitriona:
    - Bulbo y masa del SMBH<sup>3</sup>.
    - SMBH en potencial gravitacional<sup>4</sup>.
    - Luminosidad del AGN y galaxia<sup>5</sup>.

## Problemas

- Alta luminosidad del núcleo.
  - Orientación del AGN.



Tomada de: <https://www.illustris-project.org/media/>.

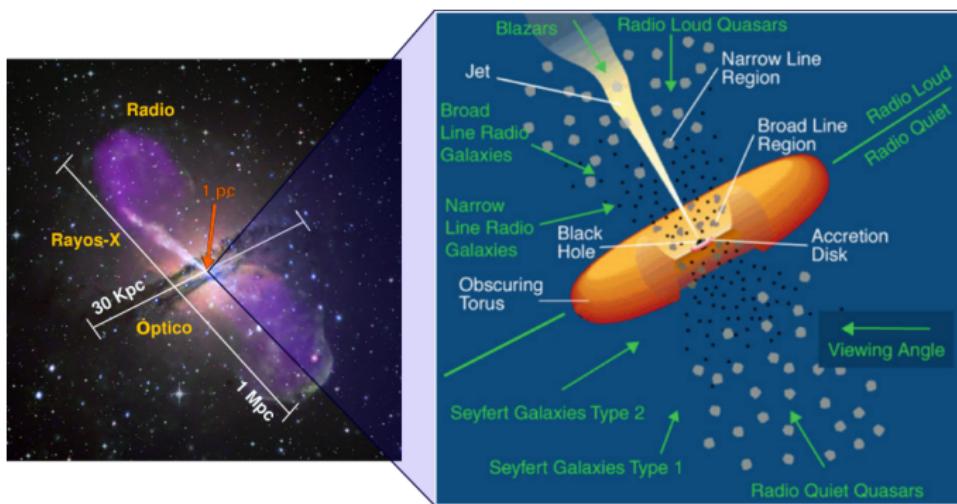
<sup>2</sup>Suresh, J., et al. (2015). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448(1), 895-909.

<sup>3</sup> Magorrian, J., et al. (1998). The Astronomical Journal, 115(6), 2285

<sup>4</sup> Hopkins, P., et al. (2006). The Astrophysical Journal Supplement Series, 163(1), 1.

<sup>5</sup>Kauffmann, G., et al. (2003). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 346(4), 1055-1077.

## Modelo unificado



Tomada de: [https://apod.nasa.gov/apod/image/0801/cena\\_comp.jpg](https://apod.nasa.gov/apod/image/0801/cena_comp.jpg) y P. Schneider. 2014. Extragalactic astronomy and cosmology: an introduction.

## Principales componentes de emisión del espectro integrado

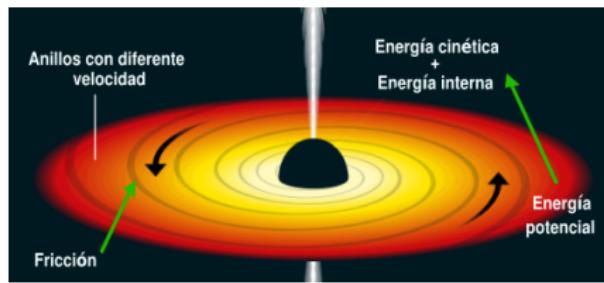
- Disco de acreción.
  - Galaxia anfitriona.
  - Toro.
  - Regiones de formación estelar (polvo frío).

## Principales componentes de los AGN

## Disco de acreción

Conformado por gas en rotación cayendo en el agujero negro y emitiendo como cuerpo negro en el rango óptico y UV.

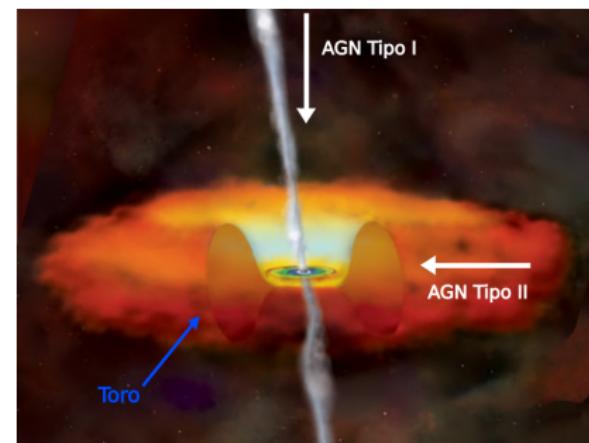
$$T(r) = \left( \frac{GM_{\bullet} \dot{m}}{8\pi\sigma_{\text{SB}} r^3} \right)^{1/4}$$



Editada de: <https://www.theguardian.com/science/2019/apr/10/black-hole-picture/-captured-for-first-time-in-space-breakthrough>

Toronto

Gas y polvo alrededor del disco de acreción que absorbe radiación en el óptico y UV reemitiéndola en el IR.



Editada de [http://research.iac.es/proyecto/consolider-ingeno-gtc/images/stories/Difusion/Reportajes/accretiondisk\\_torus.jpg](http://research.iac.es/proyecto/consolider-ingeno-gtc/images/stories/Difusion/Reportajes/accretiondisk_torus.jpg)

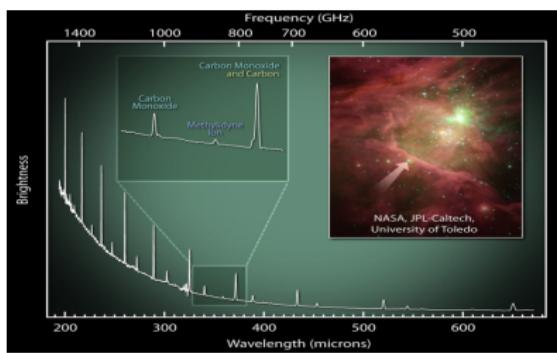
## Principales componentes de los AGN

## Galaxia anfitriona

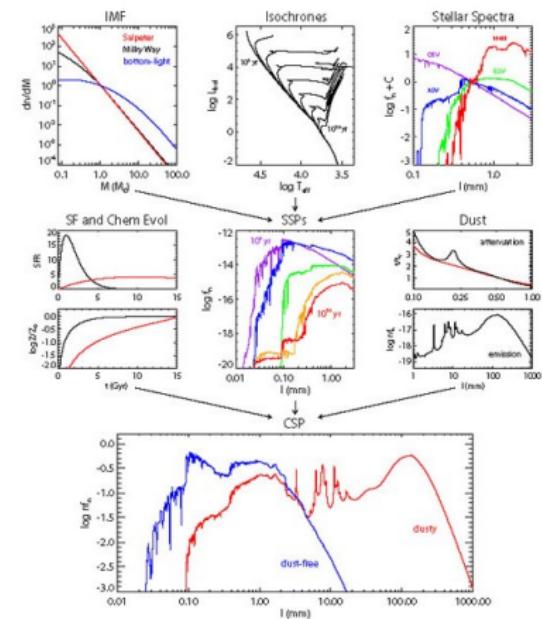
Espectro desde UV hasta IR por emisión estelar y reprocesamiento por polvo.

## Regiones de formación estelar

Gas frío y denso<sup>6</sup> con emisión en MIR y FIR y líneas por colisión y recombinación.



Tomada de: <https://www.cosmos.esa.int/web/herschel/>  
first-spectroscopy

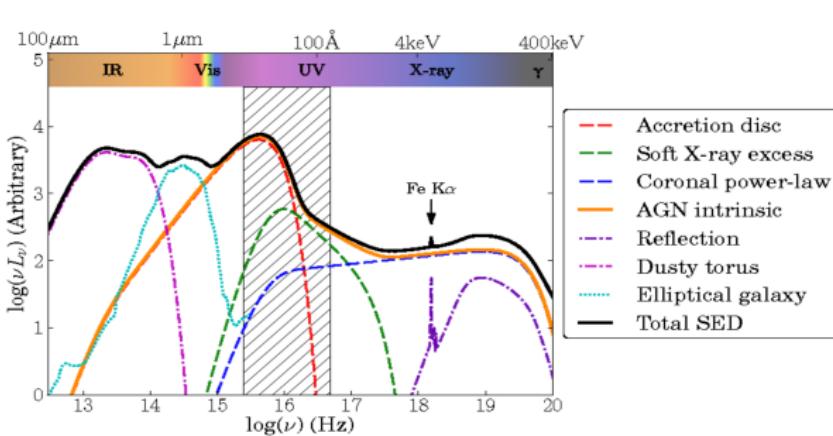


Tomada de: <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept14/Conroy/Conroy2.html>

<sup>6</sup> Con temperaturas entre 10 [K] y 30 [K] y una densidad de  $10^4 \text{ cm}^{-3}$

## Distribución espectral de energía (SED)

Es un espectro de baja resolución que permite estudiar propiedades de las fuentes de radiación, por medio del ajuste de datos fotométricos a modelos teóricos o semi-empíricos.



Distribución espectral de energía típica de una galaxia activa. Tomada de: Collinson et al. (2016). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, stw2666.

En AGN va desde radio hasta rayos gamma con protuberancias en el infrarrojo y UV.

Estadística bayesiana y Cadenas Markov de Monte Carlo

## Teorema de Bayes

$$P(\vec{\rho} | \text{datos}) = \frac{P(\text{datos} | \vec{\rho}) P(\vec{\rho})}{P(\text{datos})}$$

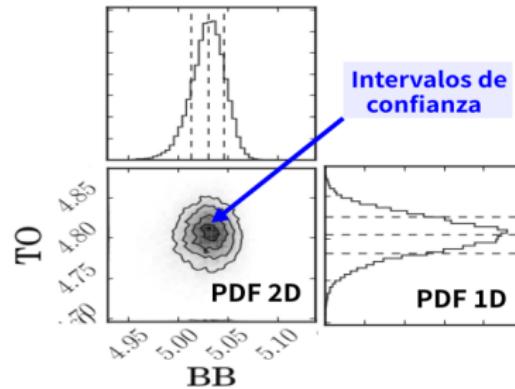
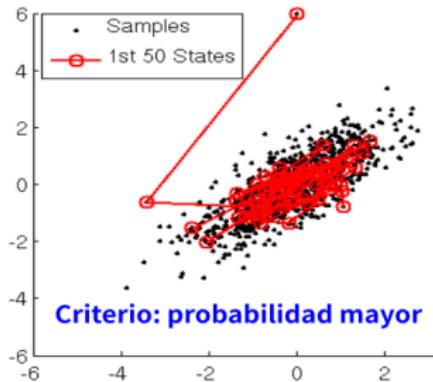
↓

$$P(\rho_i) = \int^{k \neq i} d\rho_1 \dots d\rho_k P(\vec{\rho} | \text{datos})$$

## Función de verosimilitud

$$\mathcal{L}(\text{datos}, \bar{\rho}) \propto \prod_{i=0}^n \exp \left[ -\frac{[\text{datos}_i - f(\bar{\rho}|\nu)]^2}{2\sigma_i^2} \right]$$

## Caminata aleatoria en el espacio de parámetros

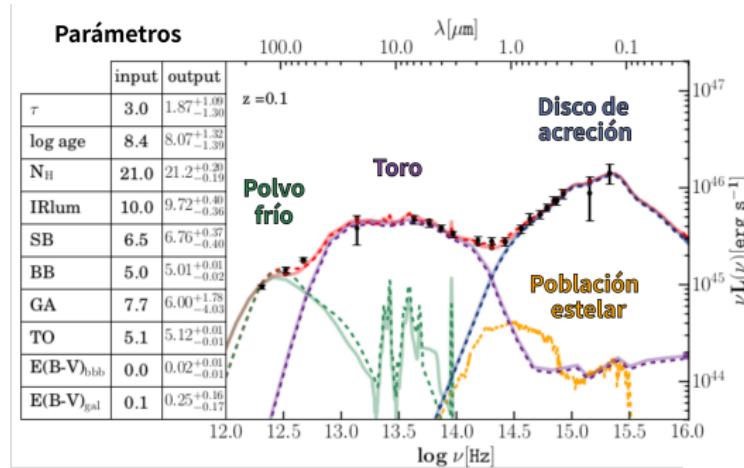


Algoritmo AGNfitter

AGNfitter

- Ajustar distribuciones espectrales de energía de galaxias con AGN utilizando estadística bayesiana y cadenas Markov de Monte Carlo (MCMC).
  - Funciones de densidad de probabilidad *a posteriori* para cada parámetro.

Conjunto de 10 parámetros a explorar durante el ajuste de las SED



Ajuste a SED de una galaxia activa con AGNfitter. La curva morada corresponde a la emisión del toro, la azul a la del disco de acreción, la verde a la del polvo frío y la naranja a la de la población estelar. Tomada de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

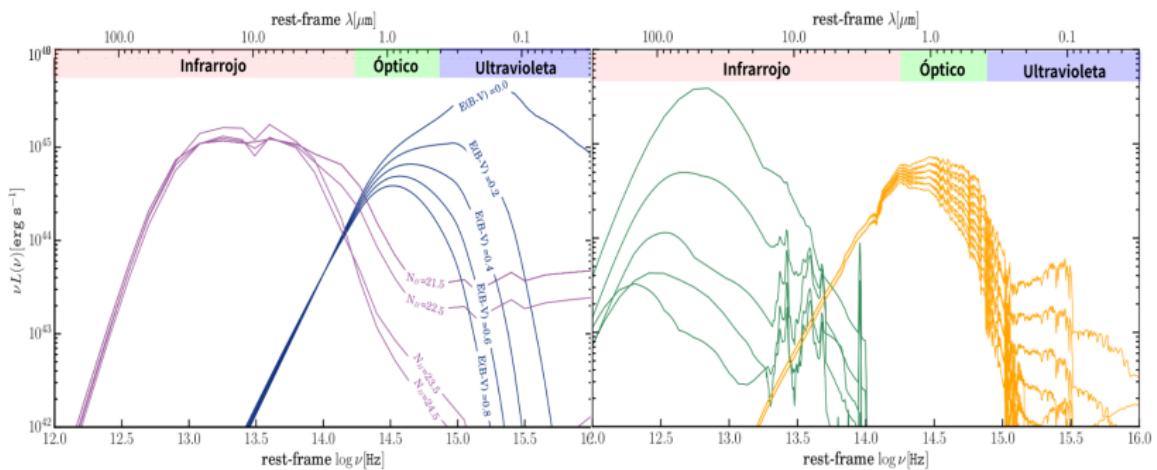
## Modelos físicos de emisión

- QSOs I + cuerpo negro
  - Ley de enrojecimiento

- Galaxias Seyfert + GRASIL
  - 4 rangos de  $N_H$

- Síntesis de población +  
aprox. estándar
  - Ley de enrojecimiento

- 105 SED de Arp220, NGC6090, M82 y M51
  - Polvo + hidrocarburos



Richards, et al.(2006) The Astronomical Journal, 131(6), 2766.

L. Silva, et al. (2004) Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 355(3), 973-985.

Calzetti, D., et al. (2000) The  
Astrophysical Journal, 533, 682

Bruzual, G., & Charlot, S. (2003) Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 344, 1000.

Chary, R., & Elbaz, D. (2001) The Astrophysical Journal, 556, 562

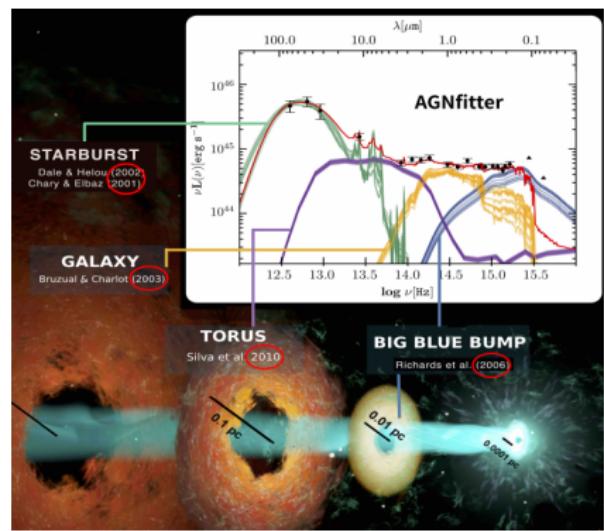
Dale, D. A., & Helou, G. (2002) The Astrophysical Journal, 576, 159

## Planteamiento del problema

# Distribución espectral de energía

## Inconvenientes actuales

- Análisis de SEDs enfocados en IR<sup>7</sup>.
- Degeneraciones entre parámetros<sup>8</sup>.
- No se han estudiado intervalos de confianza de los parámetros.
- Catálogos desactualizados.
- Dependencia de los resultados con modelos asumidos.



Edited de: <http://www.eso.org/~gcalistr/>

<sup>7</sup>Hernán-Caballero, A. et al.(2015). The Astrophysical Journal, 803(2), 109. Berta,S. et al. (2013). Astronomy & Astrophysics, 551, A100. Han, Y., & Han, Z. (2012). The Astrophysical Journal, 749(2), 123.

<sup>8</sup>Rivera, G.C. et al.(2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

# Distribución espectral de energía

## Inconvenientes actuales

- Análisis de SEDs en **IR**.
- **Degeneraciones** entre parámetros.
- **Intervalos de confianza** de los parámetros.
- Catálogos **desactualizados**.
- **Dependencia** de los resultados con modelos asumidos.

## ¿Qué vamos a hacer?

- Algoritmo bayesiano que determina las **distribuciones de probabilidad a posteriori** de los parámetros de ajuste.
- AGNfitter2.0 con **diferentes modelos de emisión** para el disco de acreción, el polvo frío y el toro.
- Datos fotométricos de **galaxias activas cercanas** en  $z < 0.7$ .

**Estudiar variabilidad de las propiedades físicas inferidas y su dependencia de los modelos de emisión asumidos.**

## Objetivos

# Objetivos

## Objetivo general

Comparar las propiedades físicas de una muestra de AGN en  $z < 0.7$  a partir del modelamiento de sus distribuciones espectrales de energía variando los modelos físicos de emisión.

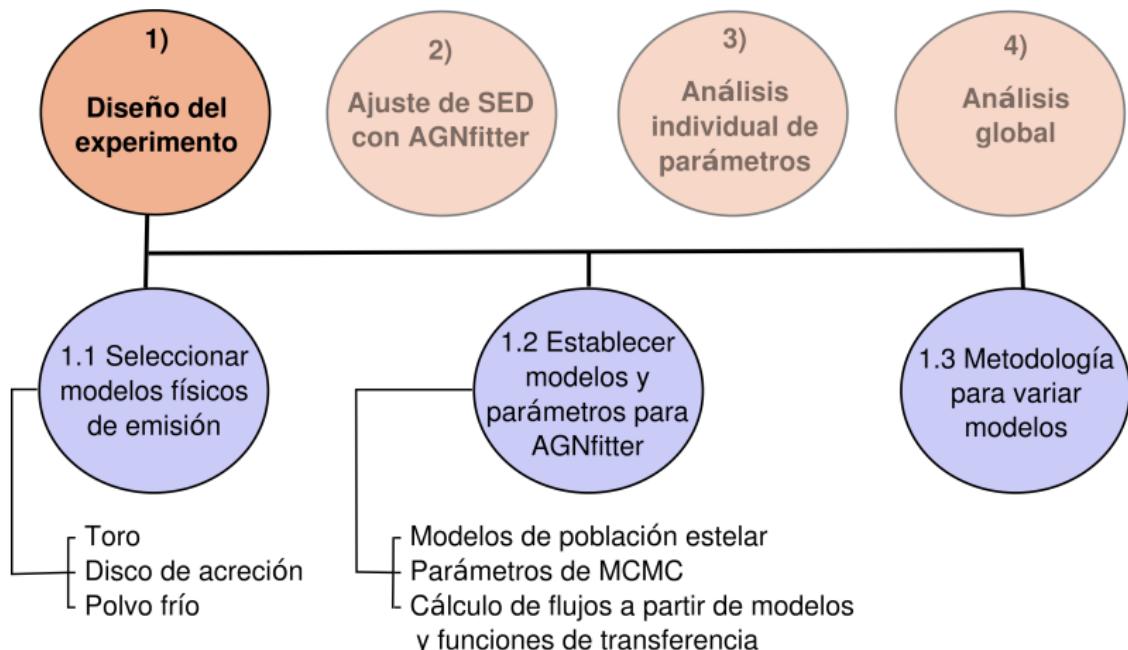
# Objetivos

## Objetivos específicos

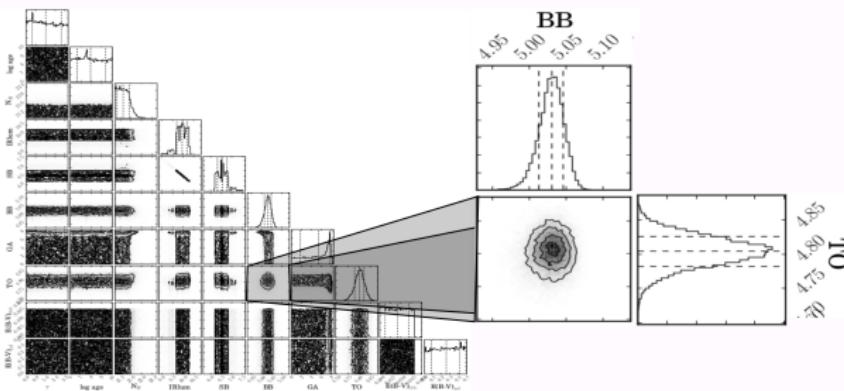
- Identificar el conjunto de **modelos físicos** más relevantes para la emisión toro, disco de acreción y polvo frío a ser implementados en el ajuste de las distribuciones espectrales de energía.
- **Modelar la distribución espectral de energía** observada de una muestra de AGN en  $z < 0.7$  en longitudes de onda de radio hasta rayos X utilizando el código bayesiano AGNfitter.
- Analizar las distribuciones de probabilidad de los parámetros físicos asociados a cada uno de los modelos haciendo enfasis en su **interpretación física**.
- Cuantificar las **diferencias globales** en los resultados de los ajustes efectuados para toda la muestra de AGN con los diferentes modelos.

## Metodología

# Actividades

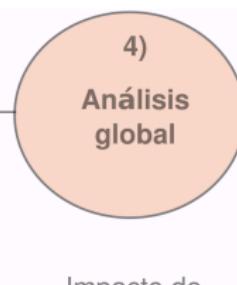
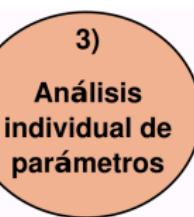


# Actividades

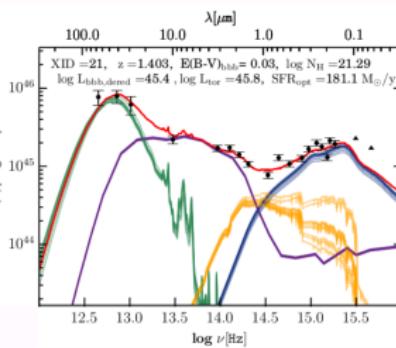
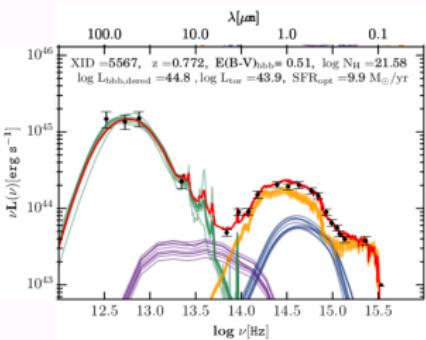


Editado de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

# Actividades



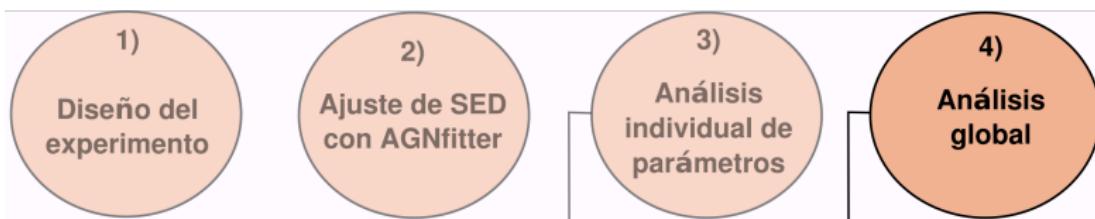
Repercusión en las características de  
AGN y galaxia anfitriona



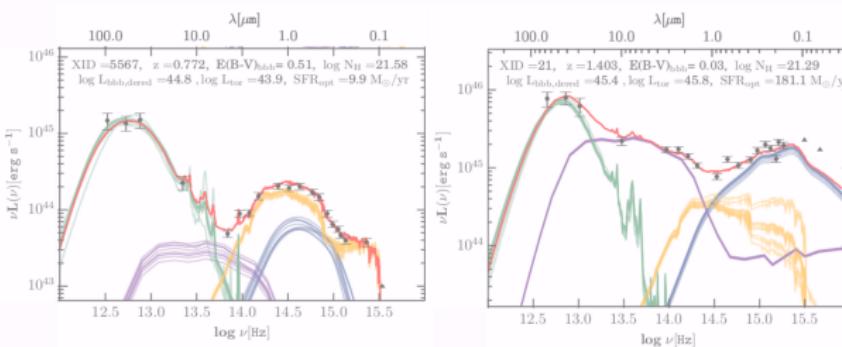
Impacto de  
modelos  
asumidos en el  
ajuste sobre  
parámetros  
inferidos

Tomado de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

# Actividades



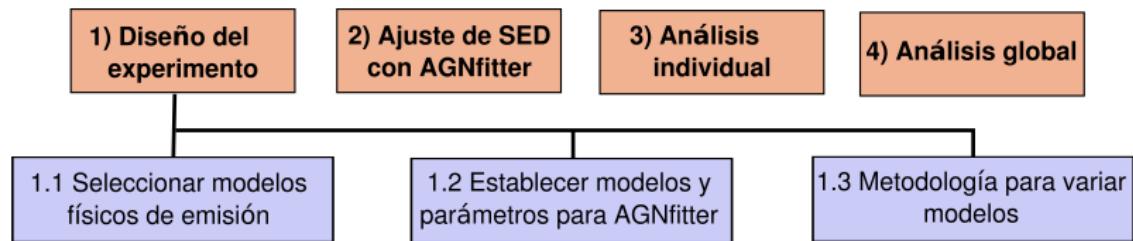
Repercusión en las características de AGN y galaxia anfitriona



Impacto de modelos asumidos en el ajuste sobre parámetros inferidos

Tomado de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

# Cronograma de actividades



Mes/Actividad	1.1	1.2	1.3	2	3	4
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						

Marco teórico  
oooooooooo

Algoritmo AGNfitter  
ooo

Planteamiento del problema  
ooo

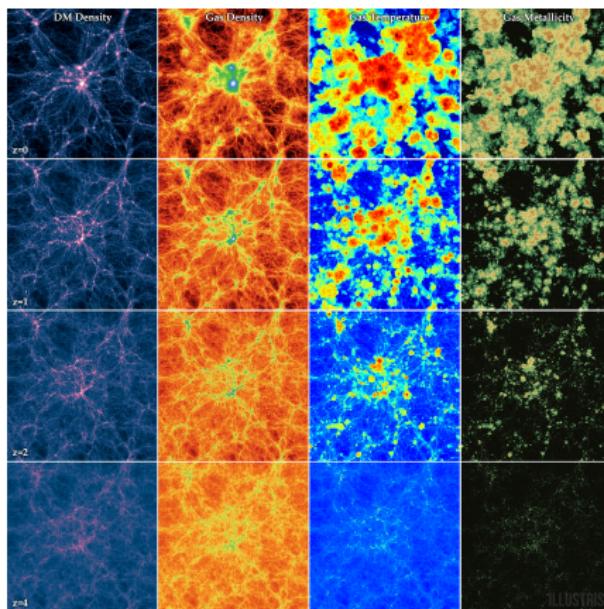
Objetivos  
ooo

Metodología  
oooooo●

—  
oooooooooooo

# GRACIAS

# AGN feedback



## Simulaciones cosmológicas

- Regulación de la formación estelar<sup>9</sup>.
- Calentamiento de gas en halos de masa (modo radio)<sup>10</sup>.
- Eyección de energía, masa y momento<sup>11</sup>.
- Enriquecimiento del IGM y CGM por eyección de metales<sup>9</sup>.

Tomada de: <https://www.illustris-project.org/media/>.

<sup>9</sup> Suresh, J., et al. (2015). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 448(1), 895-909.

<sup>10</sup> Sijacki, D., et al (2007). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 380(3), 877-900.

<sup>11</sup> Kauffmann, G., Nelson, D., Ménard, B., & Zhu, G. (2017). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 468(3), 3737-3745.

# Algunas ecuaciones

## Líneas anchas (Ensanchamiento Doppler)

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta v}{c}$$

Tipicamente  $v \approx 1000 \text{ km/s}$ <sup>12</sup>.

## Profundidad óptica<sup>13</sup>

$$\tau_\nu = \int_0^z k_\nu \rho dz = \int_0^z \alpha_\nu dz = \sigma N$$

- $k_\nu$  [ $\text{cm}^2/\text{g}$ ] es el coeficiente de absorción.
- $\rho$  [ $\text{g/cm}^3$ ] es la densidad de masa.
- $\alpha_\nu$  [ $1/\text{cm}$ ] es el coeficiente de absorción.
- $\sigma$  [ $\text{cm}^2$ ] es la sección transversal.
- $N$  [ $1/\text{cm}^2$ ] es la densidad de columna.

## Disco de acreción<sup>12</sup>

Pérdida de energía potencial:

$$\Delta E = \frac{GM_\bullet m}{r} - \frac{GM_\bullet m}{r + \Delta r} \approx \frac{GM_\bullet m}{r} \frac{\Delta r}{r}$$

Luminosidad emitida:

$$\Delta L = \frac{GM_\bullet \dot{m}}{2r^2} \Delta r = 4\pi r \Delta r \sigma_{\text{SB}} T^4(r)$$

Temperatura de anillos:

$$T(r) = \left( \frac{GM_\bullet \dot{m}}{8\pi\sigma_{\text{SB}} r^3} \right)^{1/4}$$

<sup>12</sup>Schneider, P. (2014). Extragalactic astronomy and cosmology: an introduction. Springer.

<sup>13</sup>Irwin, J. A. (2007). Astrophysics: decoding the cosmos. John Wiley & Sons.

# Algunas ecuaciones

## Líneas por colisión y recombinación

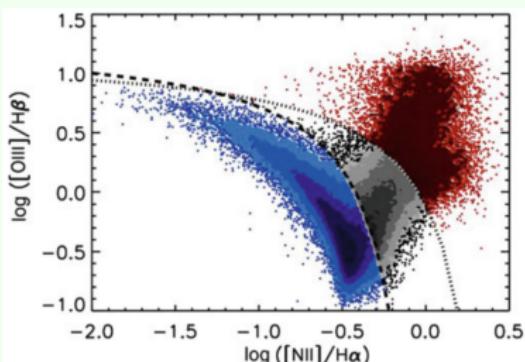


Diagrama BPT con fuentes de líneas de emisión: polvo frío (azul), AGN (rojas) y objetos compuestos (gris). Tomada de: <sup>14</sup>.

- Recombinación de átomos ionizados
- Desexcitación de átomos excitados por la colisión con otros átomos, con  $E_k$  dada por la interacción con los fotones de la nueva estrella.

<sup>14</sup> Schneider, P. (2014). Extragalactic astronomy and cosmology: an introduction. Springer.

## Síntesis de población estelar

$$F_{\lambda}(t) = \int_0^t dt' \psi(t-t') S_{\lambda,Z(t-t')} (t')$$

- $\psi(t) = -\frac{dM_{gas}}{dt}$  es la tasa de formación estelar.
- $S_{\lambda,Z(t-t')}$  energía emitida por  $\lambda$  por intervalo de tiempo.
- $Z$  es la metalicidad.
- $t'$  es la edad de la galaxia.

## Modelo estándar

$$\psi(t) = \frac{H(t-t_f)}{\tau} \exp\left(-\frac{(t-t_f)}{\tau}\right)$$

# Estadística bayesiana y Cadenas Markov de Monte Carlo

## Estadística bayesiana para ajuste de modelos

- Probabilidad como la **plausibilidad de un modelo**.
- Parámetros son variables aleatorias con valores inciertos.

### Teorema de Bayes

Probabilidad del modelo dado un conjunto de datos

$$P(\vec{\rho} | \text{datos}) = \frac{P(\text{datos} | \vec{\rho}) P(\vec{\rho})}{P(\text{datos})}$$

Evidencia ↗

### Función de verosimilitud

Probabilidad los datos dado un modelo

$$\mathcal{L}(\text{datos}, \vec{\rho}) \propto \prod_{i=0}^n \exp \left[ -\frac{[\text{datos}_i - f(\vec{\rho}|\nu)]^2}{2\sigma_i^2} \right]$$

Incertidumbres gaussianas

Prior Información previa

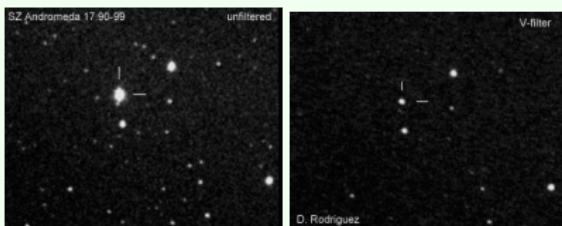
$$P(\rho_i) = \int^{k \neq i} d\rho_1 \dots d\rho_k P(\vec{\rho} | \text{datos})$$

Se marginaliza la función de densidad de probabilidad

# Fotometría vs Espectroscopía

## Fotometría

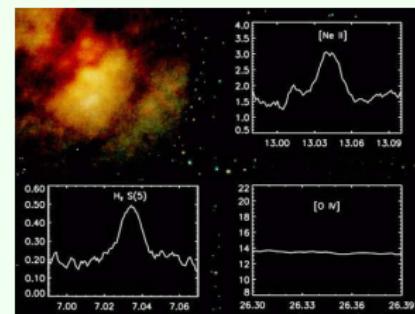
- Usa el brillo o flujo total de la radiación electromagnética.
- Presenta una buena relación señal a ruido.
- Permite obtener el espectro de numerosas fuentes al tiempo.
- Se usan CCD + filtros



Tomado de: <http://www.astro-digital.com/7/fotometria.html>

## Espectroscopía

- Dispersa la luz en diferentes longitudes de onda.
- Presenta buena resolución espectral.
- Difícil obtener el espectro de varias fuentes al tiempo.
- Se usan elementos dispersivos.



Tomado de: <http://www.astronomiadecampo.com/analizando-la-luz-de-los-astros/>

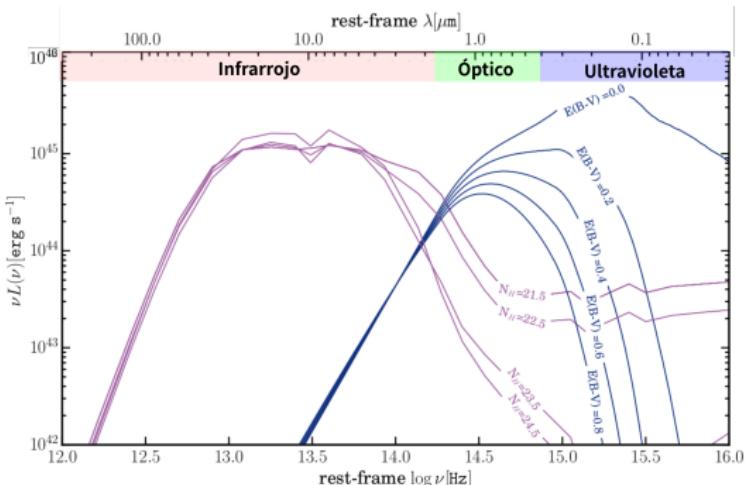
# Modelos físicos de emisión

## Disco de acreción

- Modelo semi-empírico.
- Datos 259 QSOs tipo 1 y emisión cuerpo negro<sup>15</sup>.
- Ley enrojecimiento  
 $f_{\text{red}}(\lambda) = f_{\text{em}}(\lambda) 10^{-0.4A_\lambda}$ ,  
 $A_\lambda = k(\lambda) E(B-V)_{bbb}$ .

## Toro

- Modelo empírico<sup>16</sup>: datos de galaxias Seyfert + GRASIL.
- 4 rangos de densidad de columna  $N_H$ .



Modelos de emisión en AGNfitter para emisión del disco de acreción (curvas azules) y toro (curvas moradas). Modificada de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

<sup>15</sup> Richards, et al.(2006) The Sloan digital sky survey quasar survey: Quasar luminosity function from data release 3.

<sup>16</sup> L. Silva, et al. (2004) Connecting the cosmic infrared background to the x-ray background.

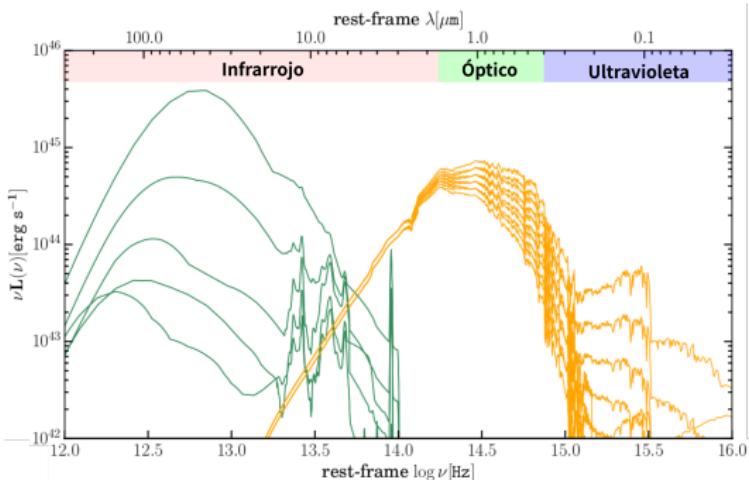
# Modelos físicos de emisión

## Población estelar

- 900 modelos de emisión estelar<sup>17</sup> + síntesis de población.
- Aproximación estandar  $\psi(t) = \tau^{-} e^{-\text{edad}/\tau}$ .
- Ley de enrojecimiento de Calzetti et al. (2000)<sup>18</sup>.

## Polvo frío

- Modelos semi-empíricos<sup>19</sup>.
- Polvo + hidrocarburos aromáticos policíclicos.



Modelos de emisión en AGNfitter para emisión estelar (curvas naranjas) y polvo frío (curvas verdes). Modificada de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

<sup>17</sup> Bruzual, G & Charlot, S. 2003

<sup>18</sup>  $f_i(\lambda) = f_o(\lambda) \times 10^{0.4E_s(B-V)k_{MW}(\lambda)}$  con  $E_s(B - V) = (0.44 \pm 0.03)\mathbf{E(B - V)_{gal}}$

<sup>19</sup> Modelos de Chary & Elbaz. (2001) con 105 SED de Arp220, NGC6090, M82 y M51, y de Dale et al. (2002).

# Parámetros físicos y de amplitud

## Parámetros

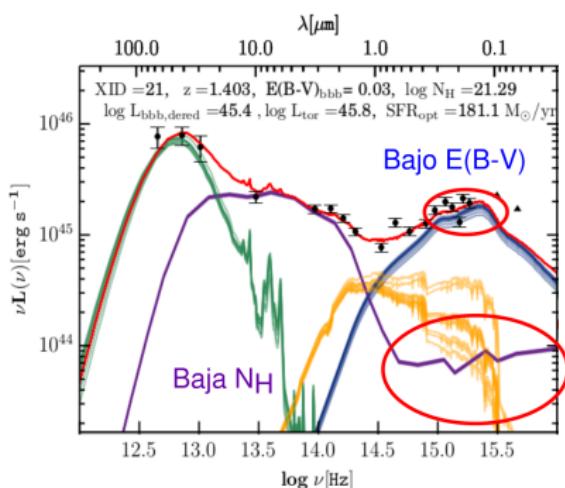
- Físicos: propiedades de las componentes y determinan la forma de la SED.
- Amplitud: contribución relativa de cada componente a la distribución espectral de energía total.

Componente	Parámetro	Tipo	Descripción	Rango
Emisión disco de acreción	BB	Amplitud	Normalización de BBB	[0, 20]
Emisión disco de acreción	$E(B - V)_{bbb}$	Físico	Enrojecimiento de BBB	[0, 1]
Emisión del toro	$\log N_H [\log cm^{-2}]$	Físico	Densidad de columna del toro	[21, 25]
Emisión del toro	TO	Amplitud	Normalización del toro	[0, 20]
Emisión estelar	$\tau [x10^9 \text{ años}]$	Físico	Escala de tiempo de SFH exponencial	[0.1, 3.0]
Emisión estelar	$\log edad [\log \text{año}]$	Físico	Edad de la galaxia	[ $10^5$ , edad(z)]
Emisión estelar	GA	Amplitud	Normalización de la galaxia	[0, 20]
Emisión estelar	$E(B - V)_{gal}$	Físico	Enrojecimiento de la galaxia	[0, 0.5]
Emisión del polvo frío	$\log IRLum [\log L_\odot]$	Indexación	Indexación de los modelos de brote estelar	[7, 15]
Emisión del polvo frío	SB	Amplitud	Normalización de brote estelar	[0, 20]

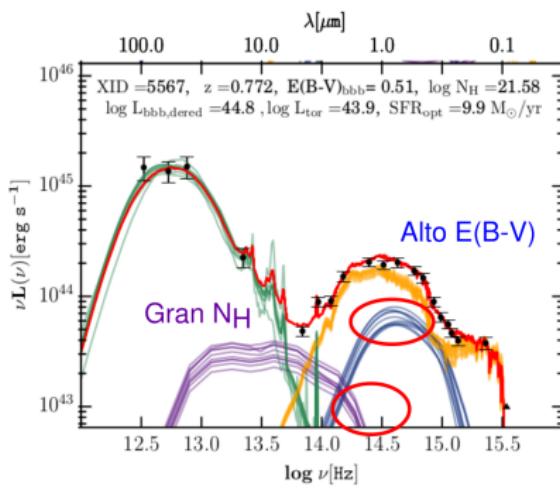
Table: Conjuntos de parámetros físicos y de amplitud encontrados en el ajuste de las SED.

# AGN tipo I y II

AGN tipo I



AGN tipo II



- Alta emisión del disco de acreción
- Poca contribución de la galaxia

- Poca emisión del disco de acreción
- Alta contribución de la galaxia

Editado de: Rivera, G. C. et al. (2016). The Astrophysical Journal, 833(1), 98.

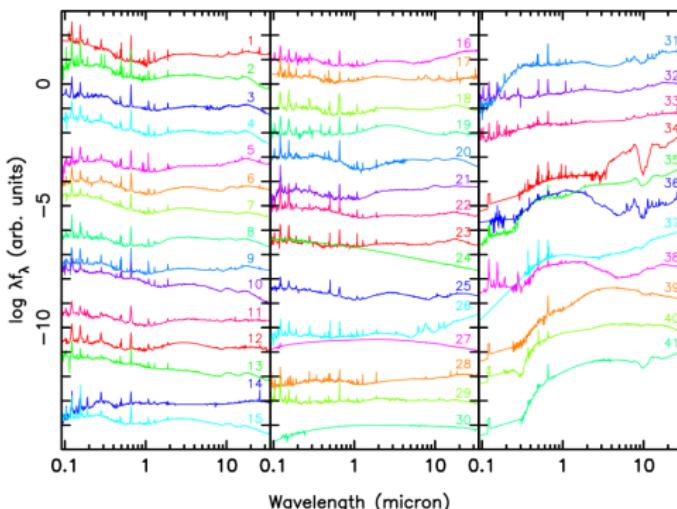
# Datos de las galaxias activas de Brown, M. et al. (2019)

Name	Coordinates (J2000)	$z$	$m_g$	$M_g$	$E(B-V)$ (mag)	Phot. Aper.	AGN Class <sup>†</sup>	EW(H $\alpha$ + [NII]) (Å)	SED $\lambda$ range ( $\mu\text{m}$ )	Scale range
2MASX J130005...	195.0223	16.5374	0.0799	17.0	-20.8	0.02	10 <sup>o</sup>	S11	62	$9.0 \times 10^{-2} - 6.4 \times 10^1$
3C 120	68.2962	5.3543	0.0330	13.5	-21.8	0.36	10 <sup>o</sup>	S1.5	817	$1.0 \times 10^{-5} - 4.8 \times 10^6$
3C 273	187.2779	2.0524	0.1583	12.8	-26.4	0.03	10 <sup>o</sup>	S1.0	446	$9.0 \times 10^{-6} - 3.4 \times 10^6$
3C 351	256.1724	60.7418	0.3719	15.3	-25.8	0.02	10 <sup>o</sup>	S1.5	349	$9.9 \times 10^{-5} - 7.1 \times 10^6$
3C 390.3	280.5375	79.7714	0.0561	14.9	-21.7	0.09	10 <sup>o</sup>	S1.5	1441	$1.0 \times 10^{-5} - 9.5 \times 10^6$
Ark 120	79.0475	-0.1494	0.0327	13.6	-22.1	0.12	10 <sup>o</sup>	S1.0	529	$2.0 \times 10^{-5} - 2.9 \times 10^5$
Ark 564	340.6639	29.7254	0.0247	14.5	-20.5	0.06	10 <sup>o</sup>	S3	197	$8.8 \times 10^{-2} - 3.6 \times 10^1$
Fairall 9	20.9407	-58.8058	0.0470	13.9	-22.3	0.02	10 <sup>o</sup>	S1.2	574	$2.5 \times 10^{-5} - 9.6 \times 10^2$
F2M1113+1244	168.4777	12.7443	0.6812	20.7	-23.4	0.02	10 <sup>o</sup>	S1	430	$9.0 \times 10^{-2} - 3.5 \times 10^1$
H 1821+643	275.4888	64.3434	0.2968	14.2	-26.6	0.05	10 <sup>o</sup>	S1.2	636	$7.0 \times 10^{-2} - 1.5 \times 10^6$
IRAS 1119+3257	168.6620	32.6926	0.1876	18.6	-21.8	0.02	10 <sup>o</sup>	S1n	370	$9.0 \times 10^{-2} - 4.2 \times 10^2$
IRAS F16156+0146	244.5392	1.6559	0.1320	18.5	-20.3	0.08	10 <sup>o</sup>	S2	511	$9.0 \times 10^{-2} - 3.3 \times 10^1$
Mrk 110	141.3035	52.2862	0.0353	15.8	-21.0	0.01	10 <sup>o</sup>	S1n	917	$2.0 \times 10^{-5} - 3.6 \times 10^1$
Mrk 1502	13.3956	12.6934	0.0589	14.2	-22.8	0.08	10 <sup>o</sup>	S1n	346	$8.5 \times 10^{-2} - 2.9 \times 10^5$
Mrk 231	194.0593	56.8737	0.0422	13.7	-22.4	0.01	10 <sup>o</sup>	S1.0	293	$4.4 \times 10^{-5} - 9.6 \times 10^6$
Mrk 279	208.2644	69.3082	0.0305	14.3	-21.6	0.02	10 <sup>o</sup>	S1.0	242	$1.0 \times 10^{-5} - 9.7 \times 10^2$
Mrk 290	233.9683	57.9026	0.0302	15.0	-20.1	0.01	10 <sup>o</sup>	S1.5	303	$1.0 \times 10^{-5} - 3.6 \times 10^1$
Mrk 421	166.1138	38.2088	0.0300	13.4	-22.3	0.02	10 <sup>o</sup>	HP	-	$1.0 \times 10^{-5} - 3.6 \times 10^1$
Mrk 493	239.7901	35.0299	0.0310	15.2	-20.3	0.03	10 <sup>o</sup>	S1n	226	$8.7 \times 10^{-2} - 3.6 \times 10^1$
Mrk 509	311.0406	-10.7235	0.0344	13.2	-22.3	0.06	15 <sup>o</sup>	S1.5	621	$1.0 \times 10^{-5} - 9.7 \times 10^2$
Mrk 590	33.6398	-0.7667	0.0261	14.8	-19.9	0.03	10 <sup>o</sup>	S1.0	43	$4.2 \times 10^{-5} - 9.8 \times 10^2$
Mrk 817	219.0919	58.7943	0.0315	14.3	-21.4	0.01	10 <sup>o</sup>	S1.5	406	$2.6 \times 10^{-5} - 1.4 \times 10^6$
Mrk 876	243.4882	65.7193	0.1290	14.6	-23.9	0.03	20 <sup>o</sup>	S1.0	789	$9.0 \times 10^{-6} - 1.3 \times 10^6$
Mrk 926	346.1812	-8.6857	0.0469	15.0	-21.8	0.04	10 <sup>o</sup>	S1.5	521	$2.0 \times 10^{-5} - 9.6 \times 10^2$
NGC 3227 Central	155.8774	19.8651	0.0039	13.4	-17.1	0.04	10 <sup>o</sup>	S1.5	547	$2.8 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^3$
NGC 3516 Central	166.6979	72.5686	0.0088	13.3	-19.0	0.04	10 <sup>o</sup>	S1.5	218	$1.0 \times 10^{-5} - 9.9 \times 10^2$
NGC 4051 Central	180.7901	44.5313	0.0023	13.6	-15.8	0.02	10 <sup>o</sup>	S1n	182	$1.0 \times 10^{-5} - 6.9 \times 10^1$
NGC 4151 Central	182.6357	39.4057	0.0033	12.9	-18.5	0.02	10 <sup>o</sup>	S1.5	640	$2.1 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^3$
NGC 5548 Central	214.4981	25.1368	0.0166	14.5	-19.3	0.02	10 <sup>o</sup>	S1.5	241	$2.7 \times 10^{-5} - 9.9 \times 10^2$
NGC 5728	220.5996	-17.2531	0.0094	13.3	-19.7	0.12	15 <sup>o</sup>	S1.9	60	$1.0 \times 10^{-5} - 9.9 \times 10^2$
NGC 7469	345.8151	8.8739	0.0163	13.3	-20.6	0.08	15 <sup>o</sup>	S1.5	289	$3.0 \times 10^{-5} - 9.9 \times 10^2$
OQ 530	214.9441	54.3874	0.1525	15.7	-23.5	0.03	10 <sup>o</sup>	HP	-	$7.8 \times 10^{-2} - 6.9 \times 10^1$
PG 0026+129	7.3071	13.2677	0.1420	14.9	-24.1	0.08	10 <sup>o</sup>	S1.2	320	$1.3 \times 10^{-5} - 3.3 \times 10^1$
PG 0052+251	13.7172	25.4275	0.1545	15.4	-23.8	0.06	10 <sup>o</sup>	S1.2	603	$9.0 \times 10^{-6} - 8.7 \times 10^2$
PG 1211+143	183.5736	14.0539	0.0809	14.2	-23.4	0.03	10 <sup>o</sup>	S1n	588	$8.5 \times 10^{-2} - 9.3 \times 10^2$
PG 1307+085	197.4454	8.3302	0.1538	15.4	-23.5	0.04	10 <sup>o</sup>	S1.2	597	$7.9 \times 10^{-2} - 8.7 \times 10^2$
PG 1415+451	214.2534	44.9351	0.1137	16.2	-22.4	0.01	10 <sup>o</sup>	S1.0	297	$8.3 \times 10^{-2} - 3.4 \times 10^1$
PG 2349-014	357.9838	-1.1537	0.1738	15.4	-23.5	0.05	10 <sup>o</sup>	S1.2	519	$9.0 \times 10^{-6} - 4.2 \times 10^6$
PKS 1345+12	206.8892	12.2900	0.1205	17.1	-22.0	0.03	10 <sup>o</sup>	S2	303	$1.3 \times 10^{-8} - 8.7 \times 10^6$
Ton 951	131.9269	34.7512	0.0640	14.4	-22.7	0.05	10 <sup>o</sup>	S1.0	251	$8.6 \times 10^{-2} - 9.4 \times 10^2$
W Com	185.3820	28.2329	0.1020	15.3	-23.1	0.03	10 <sup>o</sup>	BL	-	$8.2 \times 10^{-2} - 9.0 \times 10^1$

† Classifications taken from Véron-Cetty &amp; Véron (2010).

# Datos de las galaxias activas de Brown, M. et al. (2019)

- Datos espectroscopía en óptico e IR cercano <sup>20</sup>.
- Datos espectrofotometría:
  - IR: Akari, Spitzer, the Infrared Space Observatory (ISO) y Herschel.



Tomado de <sup>21</sup>.

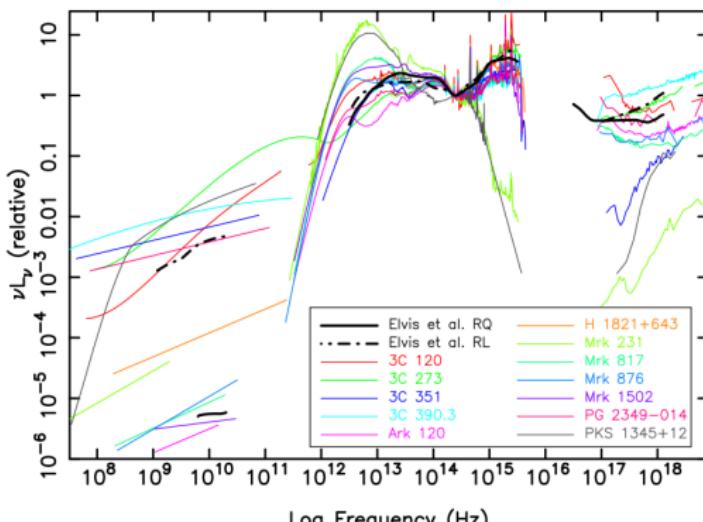
- Rayos X: Nuclear Spectroscopic Telescope Array (NuSTAR), Suzaku, XMM-Newton y el observatorio de rayos-X Chandra.
- UV: The Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE), the Hopkins Ultraviolet Telescope (HUT), the International Ultraviolet Explorer (IUE), the Wisconsin Ultraviolet Photo-Polarimeter Experiment (WUPPE) y the Galaxy Evolution Explorer (GALEX).
- UV, visible e infrarrojo cercano: Hubble Space Telescope (HST).

<sup>20</sup> Shang et al. (2005), Riffel et al. (2006), Landt et al. (2008) and Landt et al. (2013).

<sup>21</sup> Brown, M. et al. (2019). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 489(3), 3351-3367.

# Datos de las galaxias activas de Brown, M. et al. (2019)

## ■ Radio (medidas de densidad de flujo):



■ WMAP (Bennett et al. 2013), Planck (Planck Collaboration et al. 2016), GLEAM (Hurley-Walker et al. 2016), la compilación de Kuehr et al. (1981) y NASA Extragalactic Database (NED).

## ■ Infrarrojo lejano (curvas de cuerpo de negro):

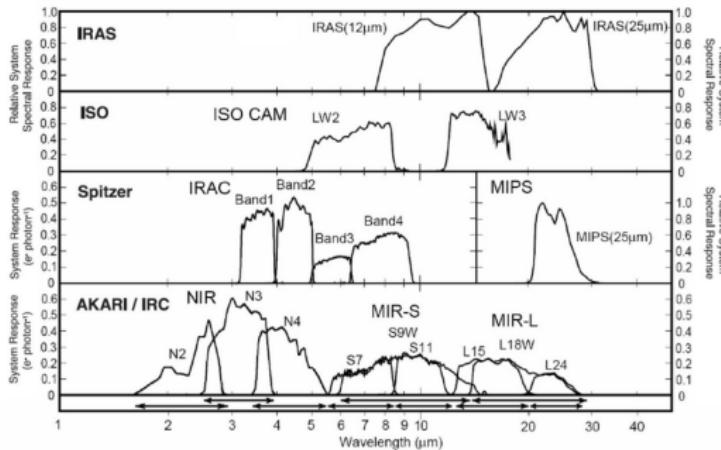
■ Herschel/PACS (HPPSC; Marton et al. 2017), Herschel/SPIRE (HSPSC; Schulz et al. 2017), WMAP (Bennett et al. 2013) y el catálogo de Planck (Planck Collaboration et al. 2016).

<sup>22</sup>Brown, M. et al. (2019). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 489(3), 3351-3367.

# Sistemas fotométricos

Flujo teórico a partir de los modelos físicos de emisión ( $F_\lambda$ ) y las características del telescopio (función de transferencia  $S(\lambda)$ ):

$$F_S = \frac{\int \lambda F_\lambda S(\lambda) d\lambda}{\int \lambda S(\lambda) d\lambda} .$$



Funciones de transferencia para algunos telescopios conocidos y sus respectivos filtros en el rango del infrarrojo.  
Tomada de: Matsuhara, H et al.(2006). Deep extragalactic surveys around the ecliptic poles with AKARI (ASTRO-F).