

# 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

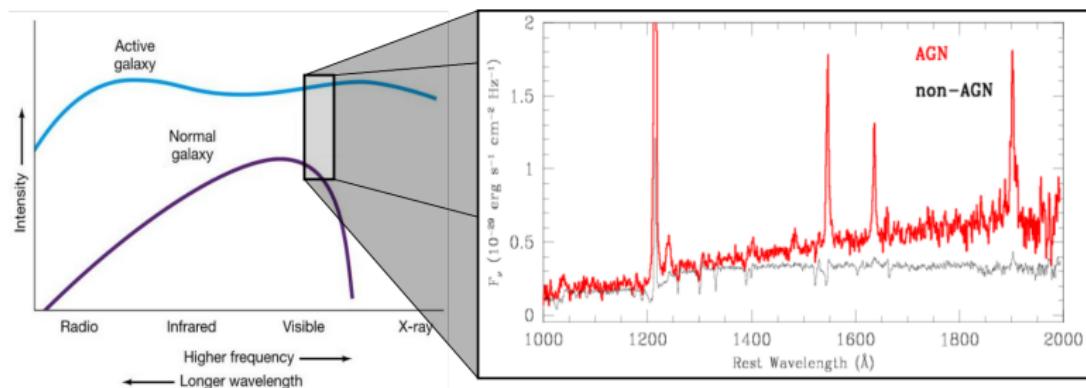
¿Existe una correlación entre las propiedades físicas inferidas de los AGN y los modelos físicos de emisión empleados para ajustar su distribución espectral de energía?

## 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 rest-frame ultraviolet spectra of UV-selected active galactic nuclei at  $z \sim 2-3$ . (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  $10^{10} M_\odot$

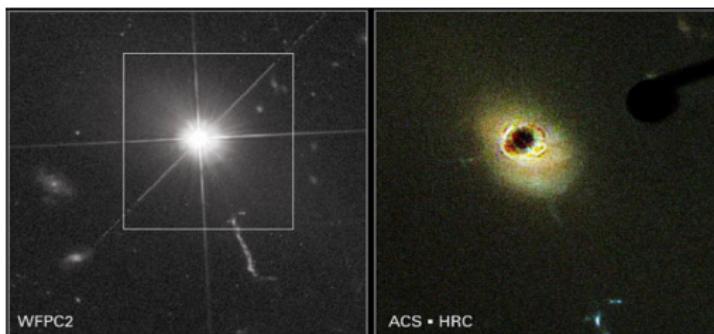
# Núcleos activos de galaxia (AGN)

Los AGN son determinantes en la evolución de su galaxia huésped.

- Correlación entre la luminosidad del bulbo y la **masa del SMBH**<sup>2</sup>.
- El SMBH es el componente dominante del **potencial gravitacional**<sup>3</sup>.
- AGN de baja luminosidad en **galaxias elípticas** y de alta en **espirales**<sup>4</sup>.

## Problemas

- Alta luminosidad del núcleo.
- Orientación del AGN.



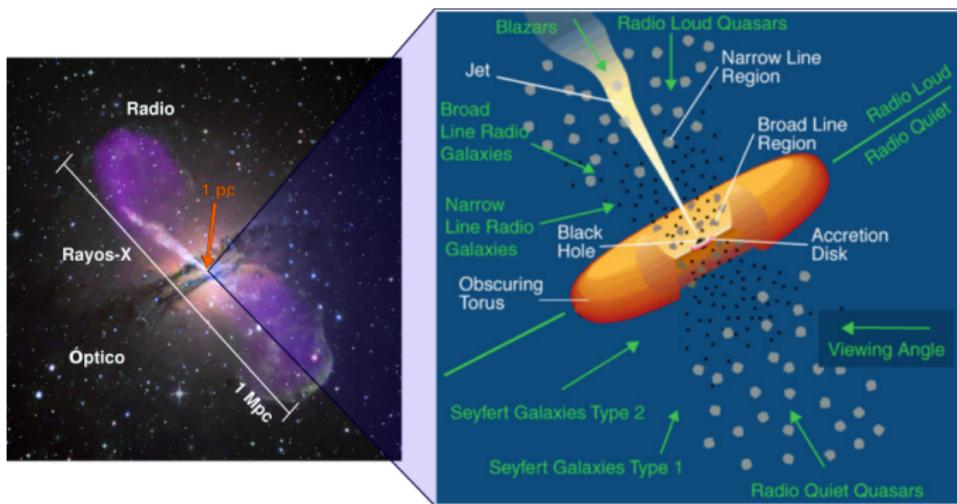
Tomada de: <https://www.astromia.com/fotouniverso/quasar3c273.htm>.

<sup>2</sup> Magorrian, J., et al. (1998). The demography of massive dark objects in galaxy centers.

<sup>3</sup> Hopkins, P., et al. (2006). A unified, merger-driven model of the origin of starbursts, quasars, the cosmic X-ray background, supermassive black holes, and galaxy spheroids.

<sup>4</sup> Kauffmann, G., et al. (2003). The host galaxies of active galactic nuclei.

# 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

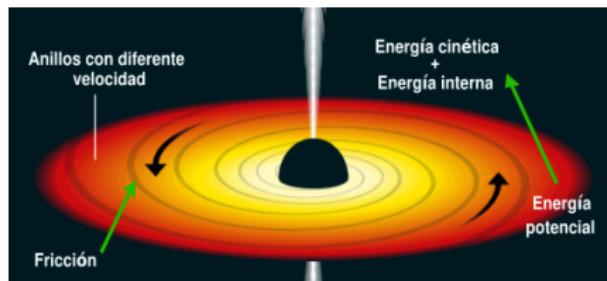
- Disco de acreción.
- Galaxia anfitriona.
- Toro.
- Regiones de formación estelar (polvo frío).

# 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.

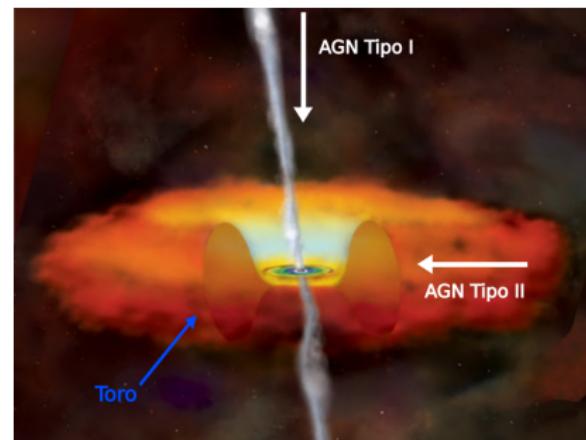
$$T(r) = \left( \frac{GM_{\bullet}\dot{m}}{8\pi\sigma_{\text{SB}}r^3} \right)^{1/4}$$



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

## Toro

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

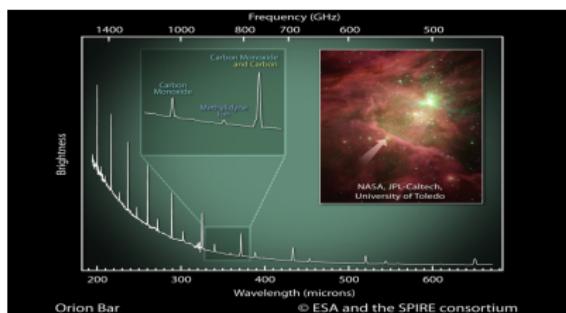
# Principales componentes de los AGN

## Galaxia anfitriona

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

## Regiones de formación estelar

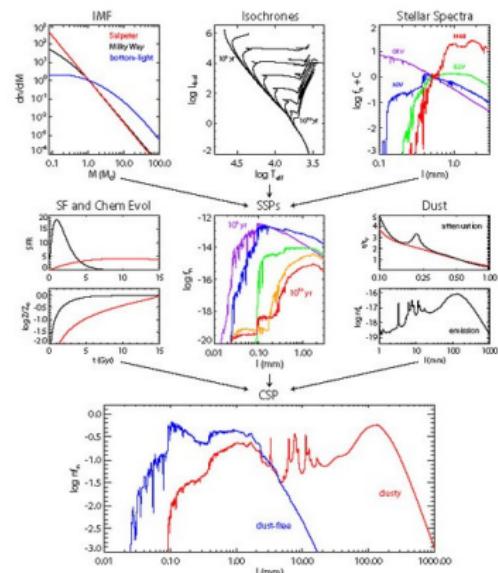
Gas frío y denso que colapsa gravitacionalmente, con emisión en MIR y FIR<sup>5</sup> y líneas por colisión y recombinación.



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

<sup>5</sup> Con temperaturas entre 10 [K] y 30 [K] y una densidad de  $10^4 \text{ cm}^{-3}$

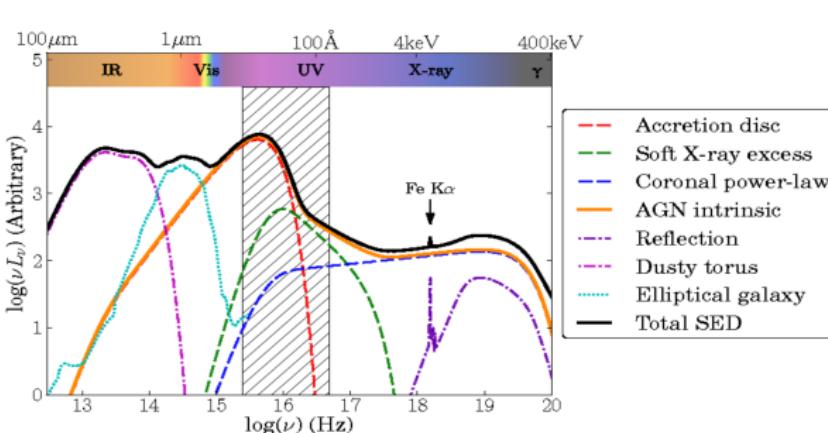
$$F_\lambda(t) = \int_0^t dt' \psi(t-t') S_{\lambda, Z(t-t')} (t')$$



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

# 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). Reaching the peak of the quasar spectral energy distribution-II. Exploring the accretion disc, dusty torus and host galaxy.

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

# 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

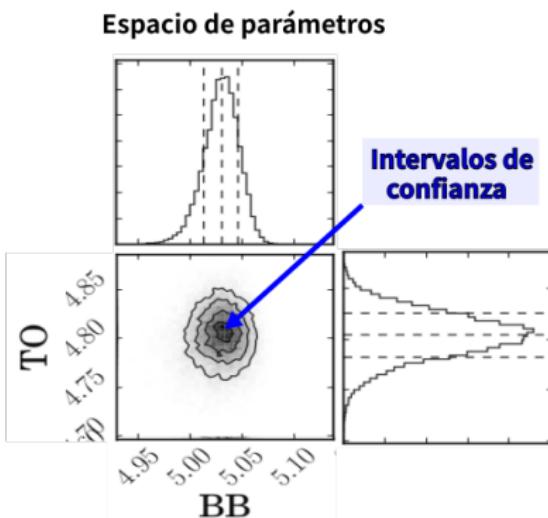
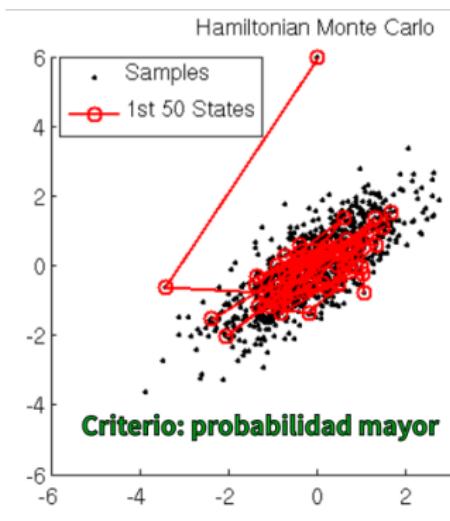
$$P(\rho_i) = \int^{k \neq i} d\rho_1 \dots d\rho_k P(\vec{\rho} | \text{datos})$$

Se marginaliza la función de densidad de probabilidad

# Cadenas Markov de Monte Carlo

## MCMC

Permite muestrear la PDF de los parámetros, por medio de una caminata aleatoria en el espacio de parámetros, garantizando que el paso siguiente solo depende de la posición actual.



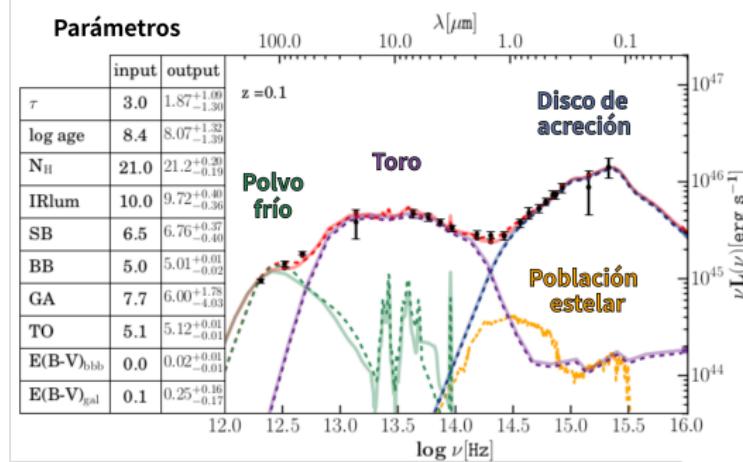
Tomada de: <https://the clever machine.files.wordpress.com/2012/11/hmcgaussiansamples.png>

## 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 población estelar. Tomada de: Rivera, G. C. et al. (2016). AGNfitter: a bayesian MCMC approach to fitting spectral energy distributions of AGNs.

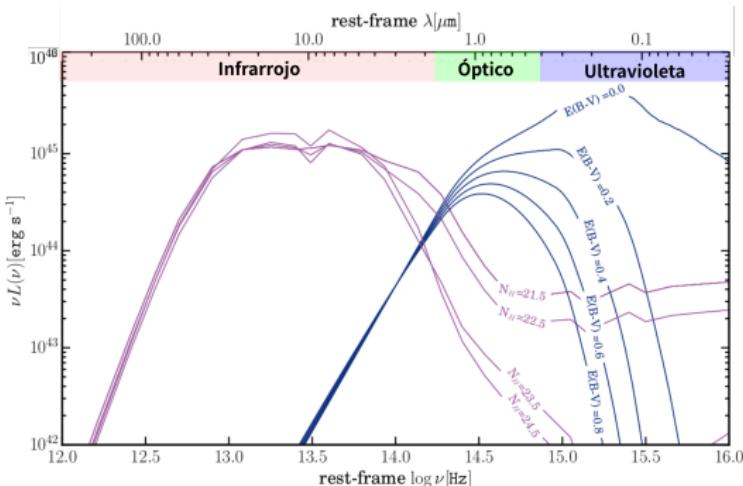
# Modelos físicos de emisión

## Disco de acreción

- Modelo semi-empírico.
- Datos 259 QSOs tipo 1 y emisión cuerpo negro<sup>6</sup>.
- Ley enrojecimiento  
 $f_{\text{red}}(\lambda) = f_{\text{em}}(\lambda)10^{-0.4A_\lambda}$ ,  
 $A_\lambda = k(\lambda)\mathbf{E}(\mathbf{B} - \mathbf{V})_{\mathbf{bbb}}$ .

## Toro

- Modelo empírico<sup>7</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). AGNfitter: a bayesian MCMC approach to fitting spectral energy distributions of AGNs.

<sup>6</sup> Richards, et al.(2006) The Sloan digital sky survey quasar survey: Quasar luminosity function from data release3.

<sup>7</sup> L. Silva, et al. (2004) Connecting the cosmic infrared background to the x-ray background.

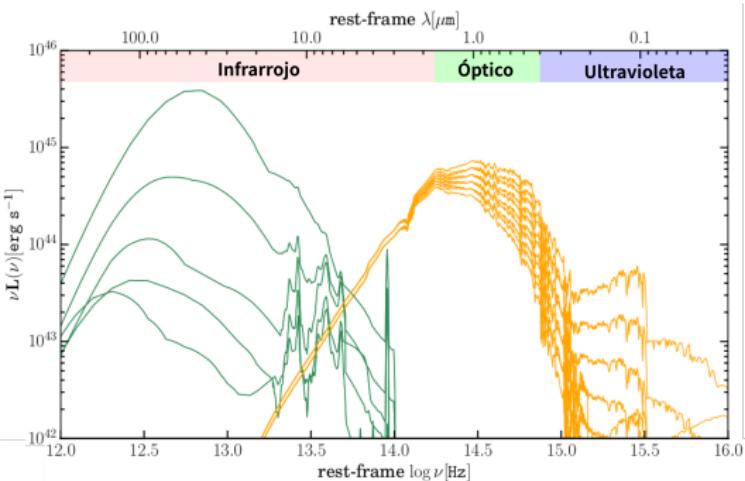
# Modelos físicos de emisión

## Población estelar

- 900 modelos de emisión estelar<sup>8</sup>+ síntesis de población.
- Aproximación estandar  $\psi(t) = \tau^{-} e^{-\text{edad}/\tau}$ .
- Ley de enrojecimiento de Calzetti et al. (2000)<sup>9</sup>.

## Polvo frío

- Modelos semi-empíricos<sup>10</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). AGNfitter: a bayesian MCMC approach to fitting spectral energy distributions of AGNs.

<sup>8</sup> De Bruzual & Charlot, 2003

<sup>9</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>10</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]

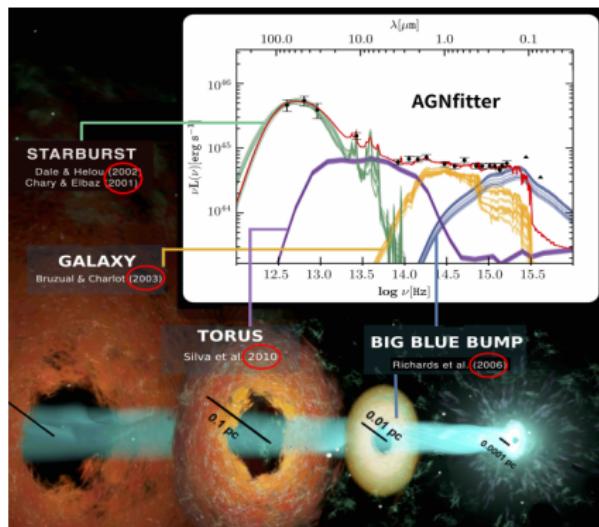
Table: Conjuntos de parámetros físicos y de amplitud encontrados en el ajuste de las SED.

## Planteamiento del problema

# Distribución espectral de energía

## Inconvenientes actuales

- Análisis de SEDs enfocados en **IR**<sup>11</sup>.
- **Degeneraciones** entre parámetros<sup>12</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>11</sup> Hernán-Caballero, et al.(2015). Resolving the active galactic nucleus and host emission in the mid-infrared using a model-independent spectral decomposition. Berta, et al. (2013). Panchromatic spectral energy distributions of Herschel sources. Han, Y., & Han, Z. (2012). Decoding spectral energy distributions of dust-obscured starburst-active galactic nucleus.

<sup>12</sup> Rivera, G.C. et al.(2016). AGNfitter: a bayesian MCMC approach to fitting spectral energy distributions of AGNs.

# 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 **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.

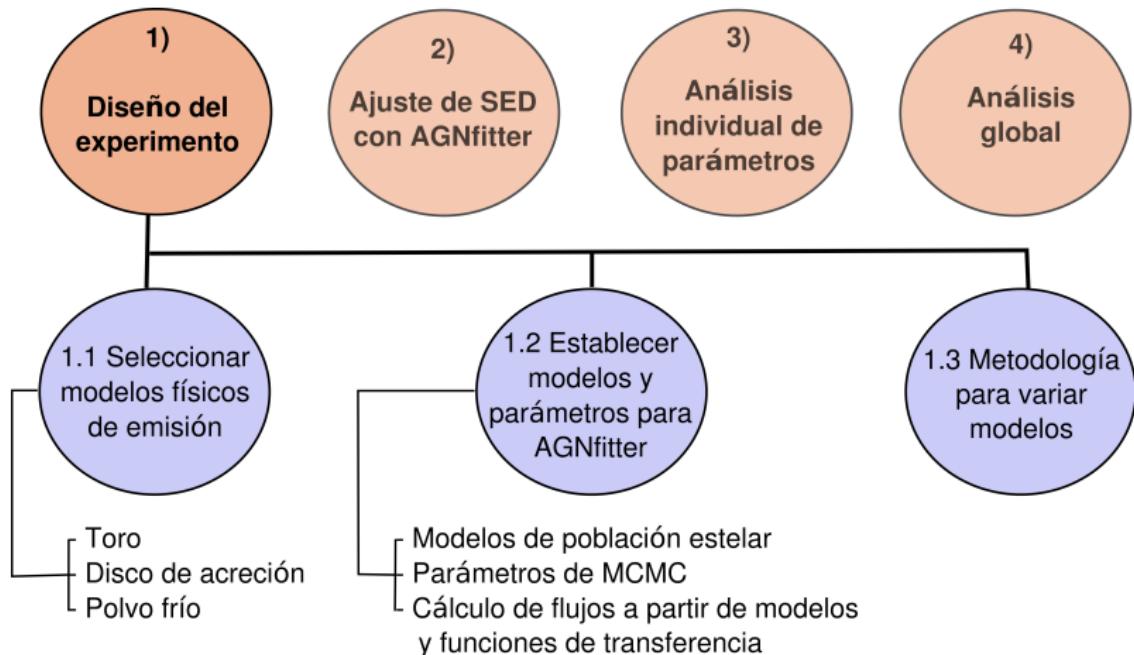
# Objetivos

## Objetivos específicos

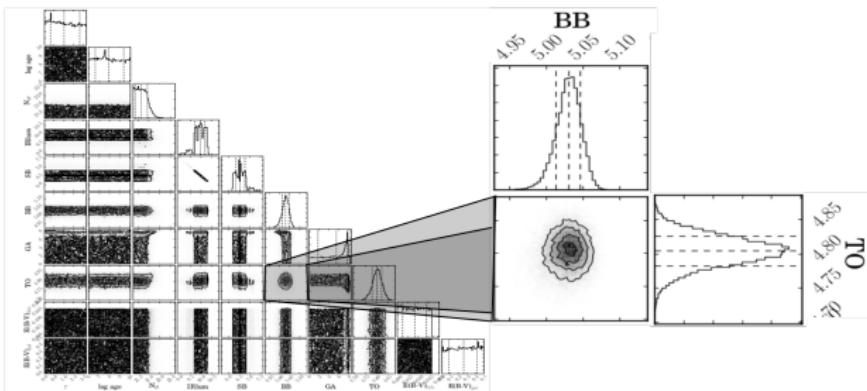
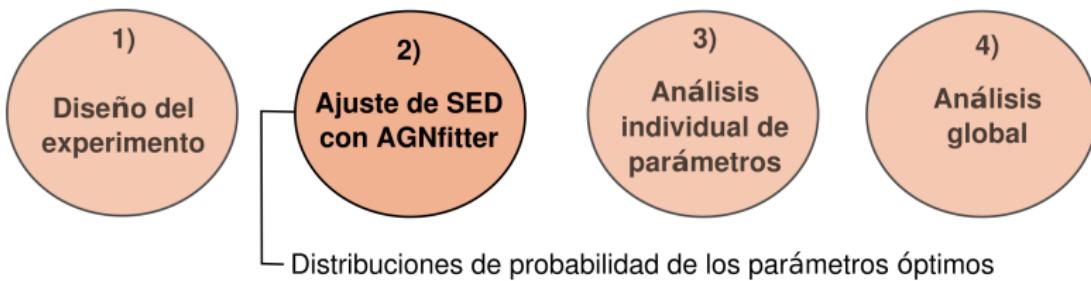
- Identificar el conjunto de **modelos físicos** más relevantes para la emisión toro, disco de acreción y polvo frío a ser implementados en el ajuste de las distribuciones espectrales de energía.
- **Modelar la distribución espectral de energía** observada de una muestra de AGN en  $z < 0.7$  en longitudes 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

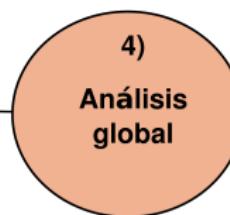
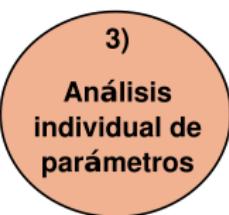


# Actividades

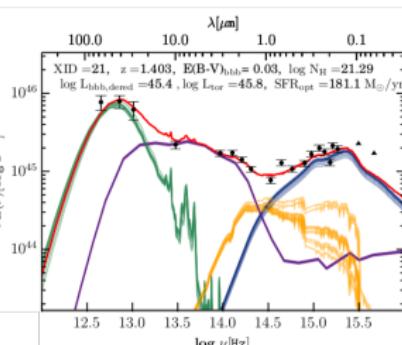
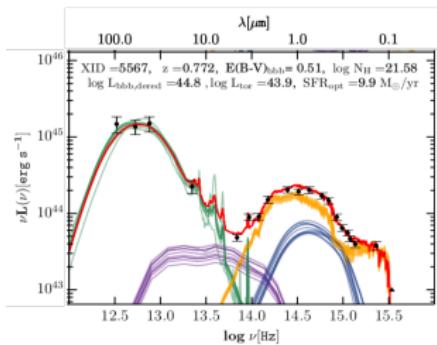


Editado de: Rivera, G. C. et al. (2016). AGNfitter: a bayesian MCMC approach to fitting spectral energy distributions of AGNs.

# Actividades



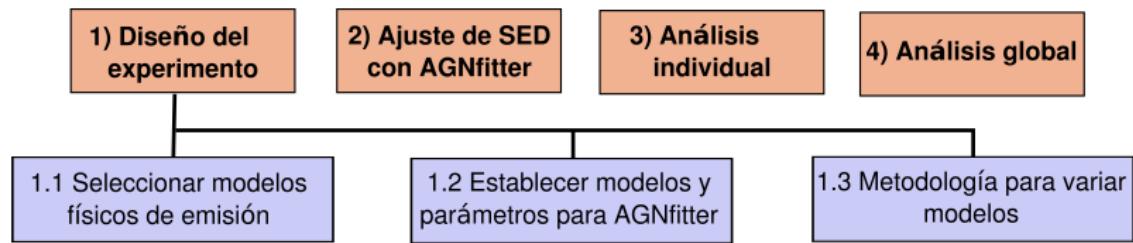
Repercusión en las características de  
AGN y galaxia anfitriona



Impacto de  
modelos  
asumidos en el  
ajuste sobre  
parámetros  
inferidos

Tomado de: Rivera, G. C. et al. (2016). AGNfitter: a bayesian MCMC approach to fitting spectral energy distributions of AGNs.

# Cronograma de actividades



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

Marco teórico  
oooooooooo

Algoritmo AGNfitter  
ooooo

Planteamiento del problema  
ooo

Objetivos  
ooo

Metodología  
ooooo●○

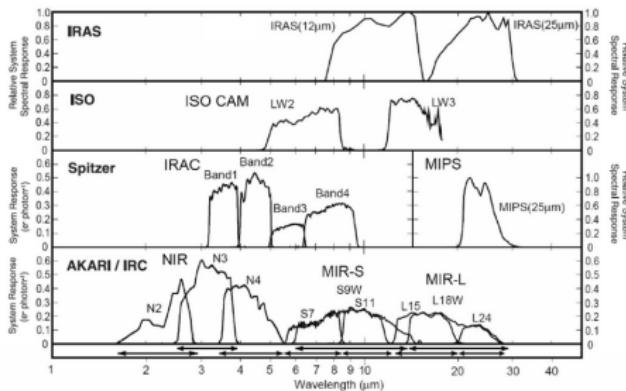
# GRACIAS

# Sistemas fotométricos

Cálculo de flujos teóricos (registrados por los telescopios) a partir de los modelos físicos de emisión ( $F_\lambda$ ) y las características del telescopio:

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

donde  $S(\lambda)$  corresponde a la respuesta del detector.



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).