

CEA
2026



Núcleo Galáctico Activo (AGN) y Agujero Negro Central de la Galaxia M81

Estudio Espectroscópico y Astrofísico

• Ismael Gómez (AAM, UPCM) • Javier de Elías (AAM) • Leoncio Peiro (AAM, UPCM)
Agrupación Astronómica de Madrid (AAM) & Grupo de Fotografía Astronómica UPCM

Observatorios

Andorra (Teruel) & Majadahonda (Madrid)

Núcleo Galáctico Activo (AGN) y Agujero Negro Central de la Galaxia M81

Estudio Espectroscópico y Astrofísico



Anatomía y Clasificación AGN

- Astrofotografía de la Galaxia de Bode M81
- Anatomía Estructural del Núcleo Galáctico Activo
- Clasificación de las Galaxias con Núcleo Activo



Modelo Toroide y Agujero Negro

- Modelización Agujero Negro Central Rotante
- Métodos de Estimación Masa Agujero Negro
- Estimación distancias Toroide de Gas y Polvo



Estudio Espectroscópico

- Conjunto Instrumental para captura del Espectro
- Análisis del Espectro del AGN Galáctico M81
- Modelo Espectroscópico Multicomponente



Modelos Astrofísicos

- Cálculos astrofísicos del Agujero Negro Central
- Cálculos astrofísicos del Toroide de Gas y Polvo
- Modelo astrofísico del Agujero Negro Central
- Modelo astrofísico del Toroide de Gas y Polvo



Conclusiones del Estudio del Núcleo Activo de M81

| Galaxia de Bode M81

- Galaxia espiral situada a 12 millones de años luz en la constelación de la Osa Mayor.

Presenta un núcleo muy brillante y activo (AGN).

Inclinación óptima para estudios $i = 59^\circ$

Población 2.5×10^{11} estrellas

- Datos de la astrofotografía:

Telescopio: OMEGON 880/128,

Distancia focal de 880 mm, apertura 128 mm.

Cámara: QHY168c con filtro Antlia Quadband.

Tiempo total de exposición:

3 horas (36 tomas de 300 segundos).

- Autores: Leoncio Peiro y Miguel Soriano,
Observatorio Andorra (Teruel), 19/04/2024.



Anatomía Estructural del Núcleo Galáctico Activo (AGN)

Un **Núcleo Galáctico Activo (AGN)** es una región compacta central galáctica con luminosidad muy alta no generada por estrellas.

El motor energético es la acreción de materia hacia un **Agujero Negro Supermasivo (SMBH)** central.

$10^6 - 10^9 M_{\odot}$

Se trata de uno de los mecanismos más eficientes conocidos de transformación de masa en radiación.

$\eta \approx 6\% - 42\%$

- **Agujero Negro Central Rotante**

Es el motor energético

- **Disco de Acreción**

Gas y plasma que giran alrededor SMBH y radian

- **Region Líneas Anchas (BLR)**

Gas denso próximo al disco que rota a gran velocidad

- **Toroide de Polvo y Gas Ionizado**

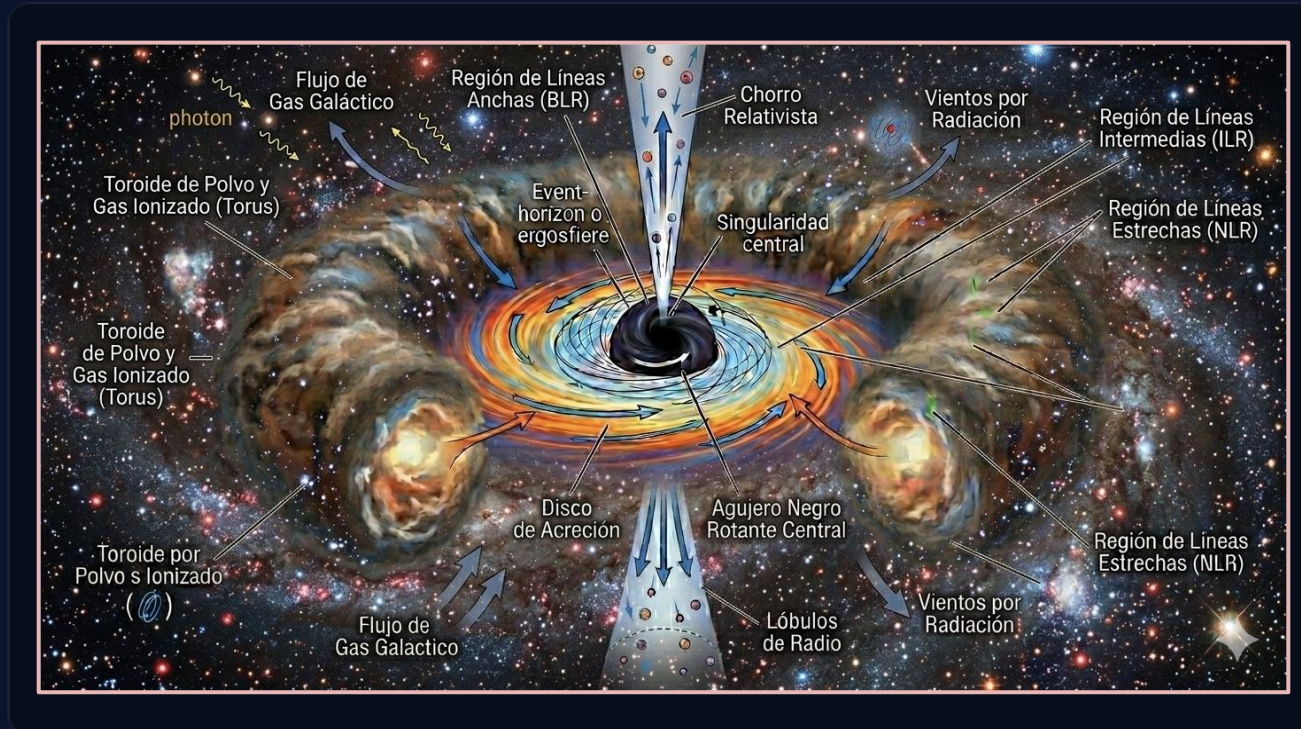
Estructura toroidal opaca que apantalla la BLR según el ángulo de visión.

- **Region Líneas Estrechas (NLR)**

Gas difuso extendido que rota a menor velocidad

- **Chorro Relativista**

Chorro de plasma eyectado perpendicular al disco de acreción



Clasificación de las Galaxias con Núcleo Activo (AGN)

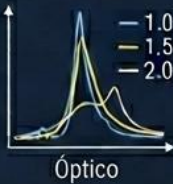
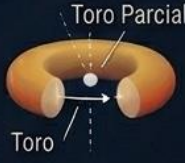
El Modelo Unificado de AGN

Todos los AGN poseen intrínsecamente la misma estructura física:

SMBH + Disco + BLR + Toroide + NLR.

La orientación e **inclinación del plano de rotación** del AGN determinan qué regiones (BLR, NLR, chorro) dominan en el espectro de radiación captado por el observador

Por potencia emitida destacan los **cuásares** y **blázares**, siendo las **galaxias Seyfert** y **LINER** las de menor intensidad.

CLASE PRINCIPAL	SUBTIPO / TAXONOMÍA	CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES / OBSERVACIONALES	ÁNGULO DE VISIÓN (Modelo Unificado)	EJEMPLOS CLAVE	ILUSTRACIÓN DEL SISTEMA
 GALAXIAS LINER	LLAGN no-AGN	 FWHM anchas > 5mil. líneas de BLR FWHM anchas <1.5 mil. líneas de BLR Visibilidad de líneas ópticas de la BLR	 Motor central débil en cualquier ángulo	M81	 Emisión ionizada
 GALAXIAS DE SEYFERT	Seyfert 1.0 Seyfert 1.5 Seyfert 1.8 Seyfert 1.9 Seyfert 2.0	• $M_B < -23$ luminosidad, alto desplazamiento al rojo • Diferencias en la potencia de emisión radio (Radio-intensos vs. Radio-silenciosos)	 Luminosidad Vista directa	NGC 3516	 Toro Parcial Toro
 CUÁSARES	Radio-silenciosos Radio-intensos	Emisión sincrotrón, variabilidad extrema • Amplificación Doppler sin desviaciones	 Emisión dirigida a $<10^\circ$ a la Tierra	3C 273	 Núcleo Núcleo superbrillante
 BLAZARES	Objetos BL Lac Cuásares OVV	• Chorros turbulentos que se vuelven difusos rápidamente (FR I) • Chorros potentes con puntos calientes brillantes en los extremos (FR II) • Luminosidad radio vs. radio elíptica	 Emisión dirigida a $<10^\circ$ a la Tierra	BL Lacertae	 Alineado intenso Haz Doppler
 RADIOGALAXIAS	FR I FR II	• Líneas de bajo contraste de baja-ionización • Baja eficiencia RIAF vs. brotes estelares • Comparación de eficiencia	 De canto/oblicua	M87	 Simétrico, lóbulos

Modelización Agujero Negro Central

Fundamentos Relativistas y Métricas

El campo gravitatorio extremo en el corazón del AGN requiere la aplicación rigurosa de las ecuaciones de **Relatividad General**

$$\overset{\text{tensor curvatura}}{G^{\mu\nu}} + \overset{\text{métrica}}{\Delta g^{\mu\nu}} = \overset{\text{tensor energía-momento}}{K \cdot T^{\mu\nu}} \quad K = \frac{8\pi G}{c^4}$$

Métrica de Schwarzschild (1915)

Solución para un **agujero negro estático** con masa (M) y sin rotación

$$a = 0$$

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2$$

Radio de Schwarzschild:

$$R_S = \frac{2GM_{\text{BH}}}{c^2} \approx 3 \frac{M_{\text{BH}}}{M_{\odot}} \text{ km}$$



Métrica de Kerr (1963)

Solución para un **agujero negro rotante** con masa (M) y momento angular (J)

$$a = J / M$$

$$ds^2 = g_{tt} dt^2 + 2g_{t\phi} dt d\phi + g_{rr} dr^2 + g_{\theta\theta} d\theta^2 + g_{\phi\phi} d\phi^2$$

Horizonte de Kerr:
$$r_+ = \frac{GM}{c^2} + \sqrt{\left(\frac{GM}{c^2}\right)^2 - a^2}$$

Estructura del Agujero Negro Rotante de Kerr



Arrastre del Marco Espacio-Tiempo

La rotación arrastra la geometría del espacio-tiempo circundante. Ningún objeto puede permanecer estático respecto a un observador lejano dentro de la ergoesfera.



Proceso Penrose

Extracción directa de energía rotacional de la ergoesfera. Proceso muy eficiente.



Desplazamiento ISCO

La órbita estable más interna disminuye de distancia para rotación extrema.

$$a^* \rightarrow 1$$

$$6GM / c^2$$



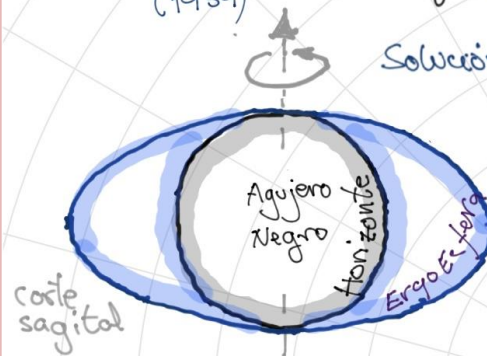
$$1.24GM / c^2$$

AGUJERO NEGRO ROTANTE

Métrica Kerr
(1959)

$$ds^2 = g_{tt} dt^2 + g_{t\phi} dt d\phi + g_{rr} dr^2 + g_{\theta\theta} d\theta^2 + g_{\phi\phi} d\phi^2$$

Solución para un objeto esférico rotante J , masa M



Horizonte $g_{rr} \rightarrow \infty$
 $\Delta = 0$

$$r_{\text{horizonte}} = M + \sqrt{M^2 - a^2}$$

$$g_{tt} = -\frac{\Delta - a^2 \sin^2 \theta}{\rho^2}$$

$$\Delta = r^2 - 2Mr + a^2$$

$$\rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$$

$$g_{t\phi} = -a \frac{2Mr \sin^2 \theta}{\rho^2} \neq 0$$

ARRASTRE TOROIDAL!

$$\omega = -\frac{g_{t\phi}}{g_{\phi\phi}}$$

$$g_{rr} = \frac{\rho^2}{\Delta}$$

$$g_{\phi\phi} = \frac{(r^2 + a^2)^2 - a^2 \Delta \sin^2 \theta}{\rho^2}$$

$$\text{ARRASTRE } \omega = \frac{2Mra}{(r^2 + a^2)^2 - a^2 \Delta \sin^2 \theta}$$

$c=1$ $G=1$

ERGO-ESFERA TOROIDAL

ARRASTRE del espacio-tiempo

$$a = \frac{\text{momento angular}}{\text{masa}} = \frac{J}{M}$$

Donde a es parámetro

Si $a=0$ Kerr $\rightarrow$ Schwarzschild

$g_{tt} < 0$ límite ESTÁTICO

$$r_{\text{ergo}} = M + \sqrt{M^2 - a^2 \cos^2 \theta}$$

ERGO-TOROIDE:

DENTRO de la ERGO-ESFERA todo ROTA con el agujero negro. Espacio-tiempo, partículas y luz son ARRASTRADAS!

GRAVITO-MAGNETISMO

Es una región ESPECIAL, donde hay un intercambio de ENERGÍA y MOMENTO ANGULAR

Métodos de Estimación de Masa Agujero Negro Central

M_{BH}

Relación Masa – Dispersión velocidades $M_{BH} - \sigma$

Sparke & Gallagher (2007, 2015):

$$M_{BH} \approx 2 \times 10^8 M_{\odot} \frac{\sigma_c}{200 \text{ km/s}}^{4.86}$$

Kormendy & Ho (2013):

$$\log_{10} \frac{M_{BH}}{M_{\odot}} = 8.32 + 4.38 \log_{10} \frac{\sigma_v}{200 \text{ km/s}}$$

M_{BH} NASA AGUERO NEGRO CENTRAL GALÁCTICO

Estimación masa agujero negro masivo SMBH central en base a datos astrofísicos del bulbo galáctico.

Órbitas estelares próximas al agujero negro central galáctico BH siguen relación Kepleriana

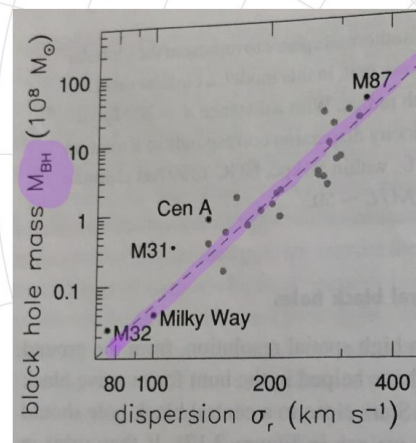
$$V^2(r) \approx \frac{GM_{BH}}{r} \approx \sigma_c^2$$

$V(r)$ velocidad radial
 σ_c dispersión velocidad radial central

Ecuación SPARKE-GALLAGHER

$$M_{BH} \approx 2 \times 10^8 M_{\odot} \times \left(\frac{\sigma_c}{200 \text{ km s}^{-1}} \right)^{4.86}$$

* Sparke, L.S., Gallagher, J.S. (2007, 2015), Galaxies in the Universe (2nd ed), Cambridge Univ. Pr.



Ecuación ALTERNATIVA KORMENDY-HO **

$$\log_{10} \frac{M_{BH}}{M_{\odot}} = \alpha + \beta \log_{10} \frac{\sigma_v}{\sigma_0}$$

$$\alpha = 8.32$$

$$\beta = 4.38$$

$$\sigma_0 = 200 \text{ km/s}$$

** J. Kormendy, L.C. Ho (2013)

Estimación distancias de la región Toroide de Gas y Polvo

Teorema del Virial en la Región del Toroide

El Toroide de Polvo y Gas Ionizado se encuentra en las órbitas más externas del AGN, y por tanto su dinámica la podemos aproximar con **ecuaciones clásicas keplerianas**.

Aplicaremos el **Teorema del Virial**, cuyo origen está en el equilibrio entre energía cinética y potencial gravitatorio del sistema de partículas circundante delimitado por las **regiones BLR y NLR**.

$$M_{BH} = f \cdot \frac{R \cdot \sigma_v^2}{G} \Rightarrow R_{virial} = \frac{G}{f} \cdot \frac{M_{BH}}{\sigma_v^2}$$

Donde **f** es el factor de forma geométrico (según la inclinación AGN).

$$f \approx 4.3 - 5.1$$

AGUJERO NEGRO CENTRAL Y TOROIDE GAS-POLVO

AGUJERO NEGRO
ESTÁTICO

$$R_s = \frac{2GM_{BH}}{c^2} \approx 3 \frac{M_{BH}}{M_\odot} \text{ km} \approx 2 \frac{M_{BH}}{10^6 M_\odot} \text{ AU}$$

Radio Horizonte

AGUJERO NEGRO
ROTANTE KERR

$$R_H = \frac{R_s}{2} (1 + \sqrt{1 - a^{*2}})$$

$a^* = 0.99$ rota a máxima velocidad

Horizonte R_H

Ergoesfera $R_{ergo} = R_s$
Ecuador

$$G = 1.327 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\text{km}^3}{M_\odot \cdot \text{s}^2}$$

$$1 \text{ pc} = 206.265 \text{ AU}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ al}$$

TOROIDE GAS-POLVO

$$M_{BH} = f \cdot \frac{R \cdot \sigma_v^2}{G} \quad \text{Teorema Virial}$$

$$R_T = \frac{G}{f} \cdot \frac{M_{BH}}{\sigma_v^2}$$

NLR

BLR

R_{NLR}

R_{BLR}

f factor geométrico distribución partículas depende geometría galaxia e inclinación

distribución esférica e isotrópica factor virial $f \sim 3$

$$f \sim 4.3$$

NGC 3516

$$f \sim 5.1$$

| Conjunto Instrumental para captura del Espectro del AGN Galáctico



Telescopio: Celestron C11 (SCT 280 mm).



Espectrógrafo: Star Analyser 100 (SA100)
+ Rendija de 35 μm .



Cámara CMOS: ZWO ASI585MC .



Adquisición: 40 min integración total (8 x 300 s).



Reducción: BASS Project v1.9.9.



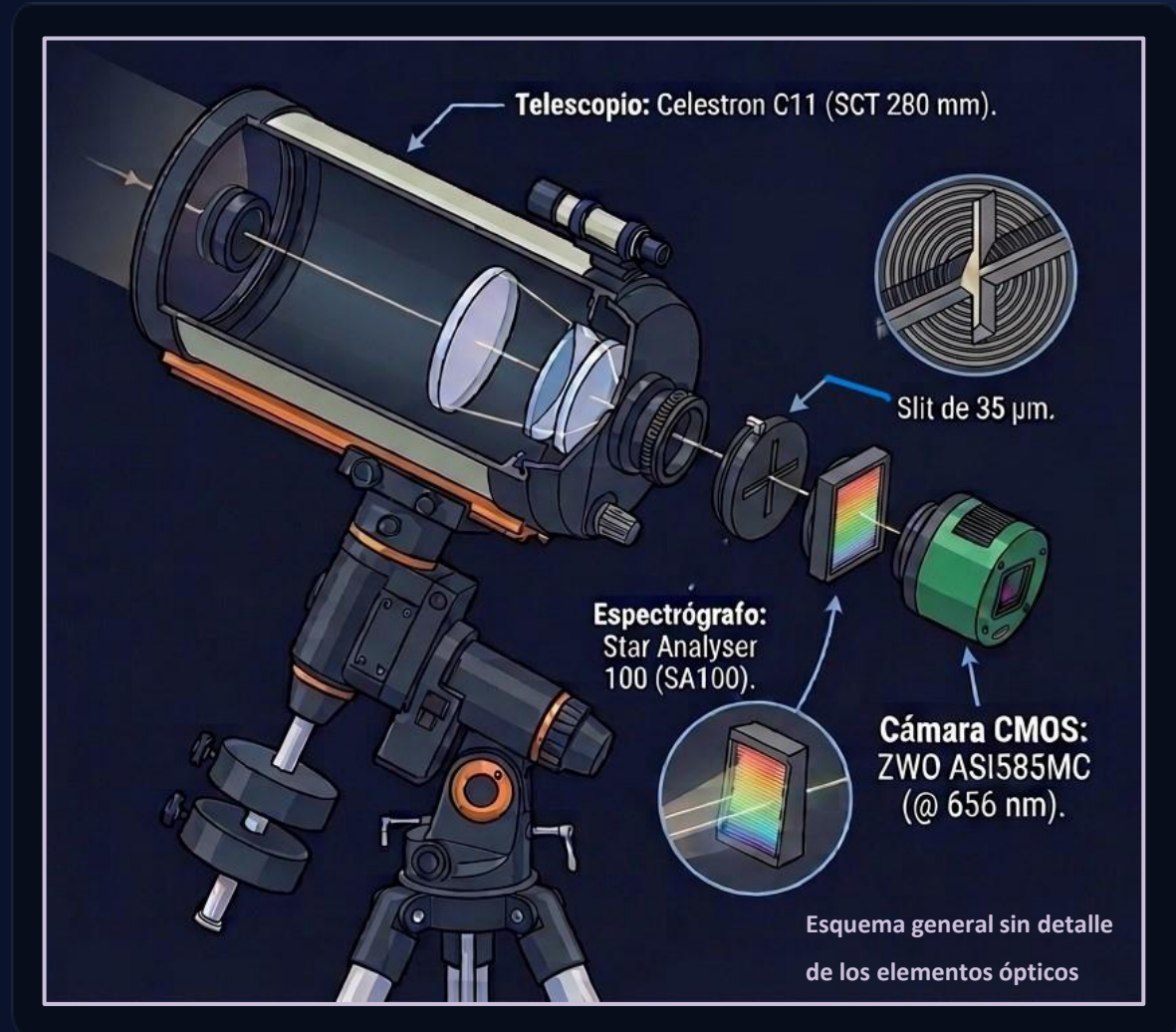
Resolución: $R \approx 280$ @656nm



Área captada: 3 arcsec del núcleo galáctico



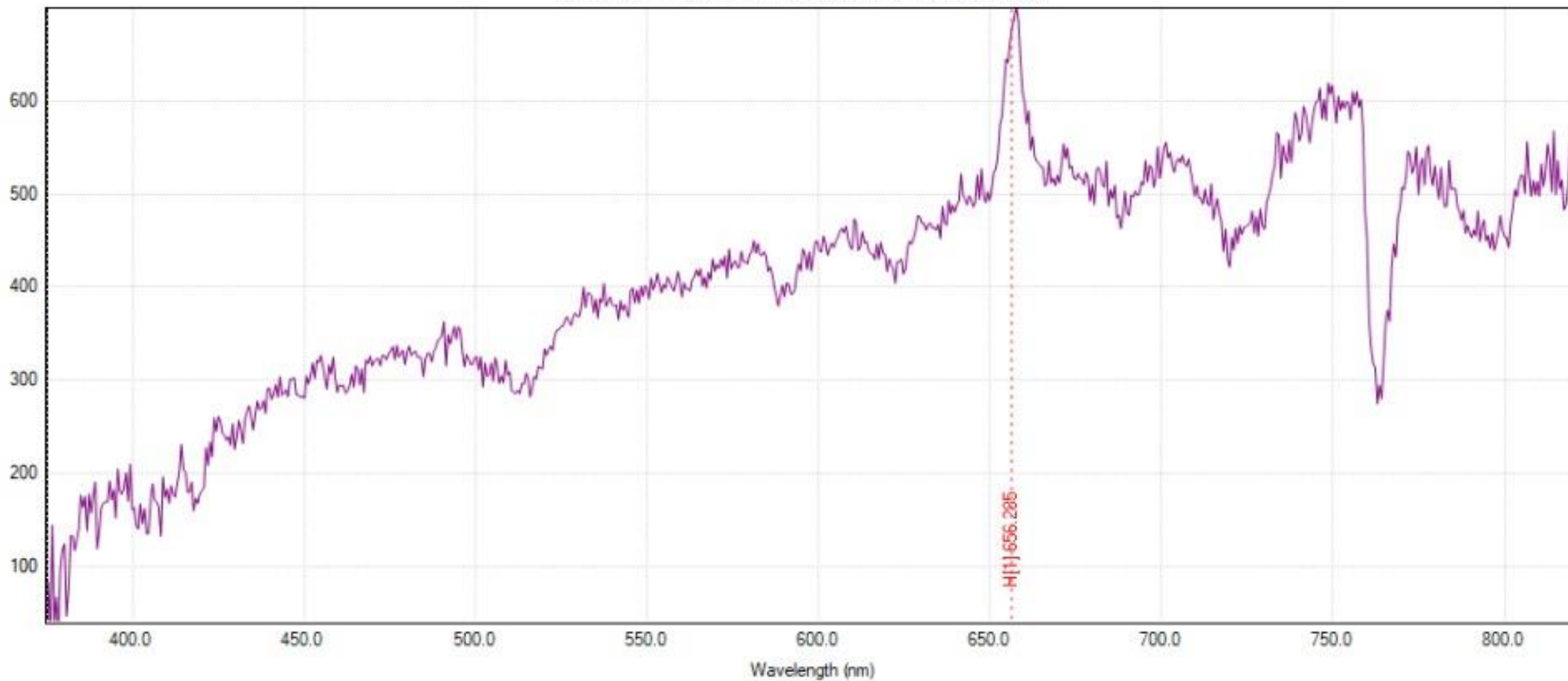
Observatorio: Majadahonda (Madrid), Javier de Elías



Espectro del AGN Galáctico M81

M81 19/4/2026 C11+SA100+ASI585 8x300s

Slit 35 micras R=280@656nm Javier de Elías Obs.Majadahonda



Análisis del Espectro del AGN Galáctico M81

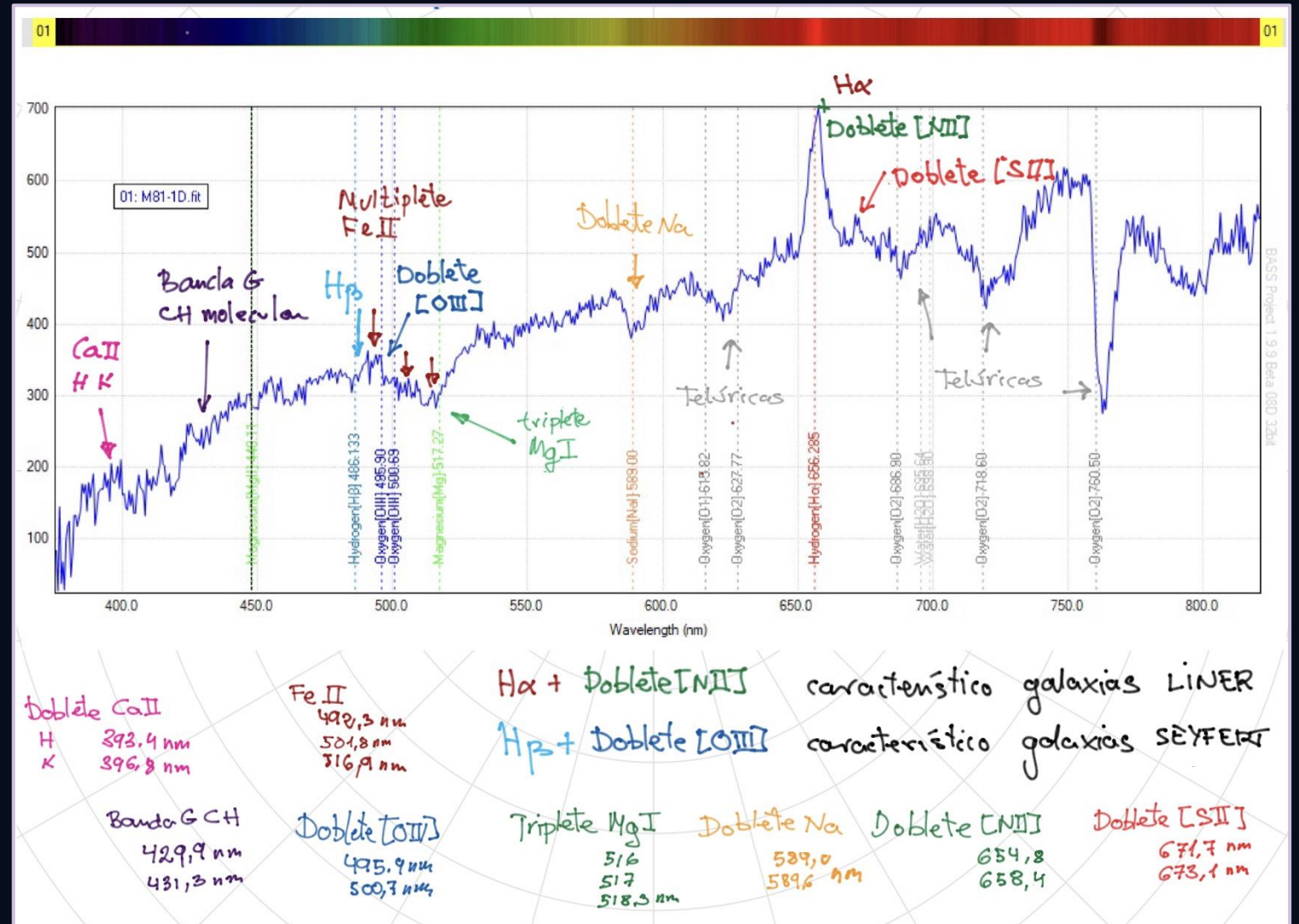
Líneas de Emisión que destacan:

📡 **Línea Integrada H-alfa [NII]:**
Hidrógeno H-alfa 656,3 nm junto al doblete de Nitrógeno ionizado [NII] 654,8 nm y 658,3 nm.
Aparecen fusionadas por la baja resolución.

📡 **Doblete de Azufre [SII]:**
671,7 nm y 673,1 nm.

📡 **Doblete de Oxígeno [OIII]:**
495,9 nm y 500,7 nm.

📡 **Hidrógeno H-beta (β):**
486,1 nm.



Análisis del Espectro del AGN Galáctico M81

Curva del Continuo:

El análisis del **continuo espectral** muestra una morfología análoga a la de una estrella de clase espectral G.

Indica que la **población estelar del bulbo galáctico** captado en el espectro está dominada por **estrellas gigantes maduras de tipos G, K y M**.



La curva del continuo de M81 nos recuerda las curvas de Planck de estrellas clase G

Es un continuo típico de poblaciones estelares viejas dominadas por estrellas gigantes G, K, M

Correspondería a las zonas del bulbo central y zonas internas de los brazos espirales.

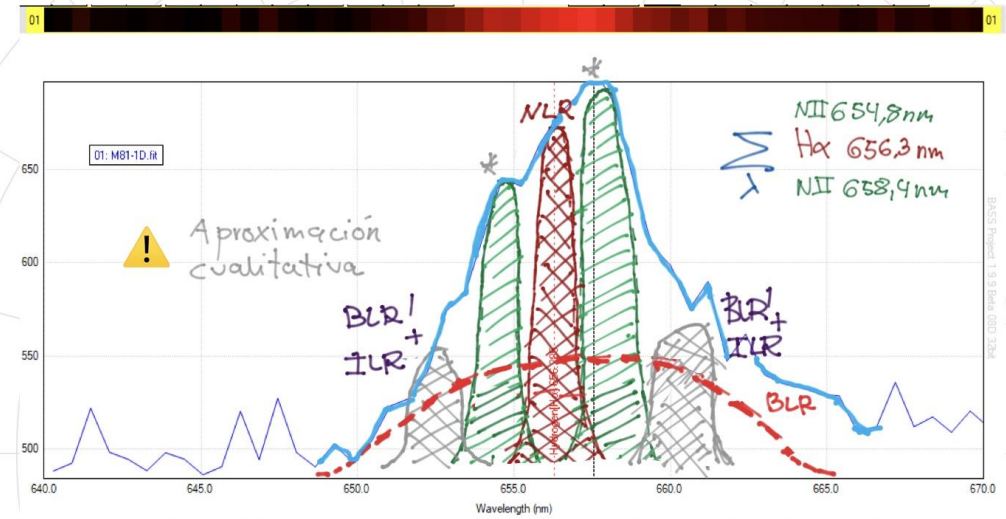
Modelo Espectroscópico Multicomponente

Modelo multicomponente línea emisión integrada

Debemos considerar y modelizar que la señal del pico de emisión íntegra las siguientes componentes:

- Hidrógeno H-alfa Estrecha (NLR): 656,3 nm**, Proviene de la Región de Líneas Estrechas NLR, caracterizada por gas de baja densidad situado a mayor distancia del agujero negro.
- Hidrógeno H-alfa Ancha (BLR): 656,3 nm**, Originada en la Región de Líneas Anchas BLR, donde el gas se desplaza a velocidades orbitales extremas debido a la proximidad del pozo gravitatorio.
- Doblete de Nitrógeno [NII]: 654,8 - 658,3 nm**, Líneas estrechas que flanquean la emisión de H-alfa.
- Asimetría ("Ala Roja")**: Se detecta una extensión asimétrica hacia longitudes de onda más largas en el perfil ancho de H-alfa, consistente con efectos cinemáticos de dispersión en el disco de acreción.

AGN Núcleo Galáctico, Línea Emisión Principal



Intensidad líneas emisión (indicios en los subpícos *)

$[NII]_{658,3} > H\alpha > [NII]_{654,3}$

La Línea H α tiene varias componentes cinemáticas:

- estrecha NLR: externa del toroide
- ancha BLR: zona interna toroide: compleja con alas y quilonés.
- intermedia ILR: zona transición intermedia

H α ~ $\frac{\sum FWHM}{f}$ ajuste gaussiano $\sigma_{\lambda} = \frac{FWHM}{2,355}$ corrección instrumental $\sigma'_{\lambda} = \frac{FWHM}{K}$

Núcleo Galáctico Dispersión Velocidades $\sigma_v = c \cdot \frac{\sigma'_{\lambda}}{\lambda}$ $K > 2,355$

Modelo Gaussiano Multicomponente

Modelo Gaussiano línea emisión integrada.

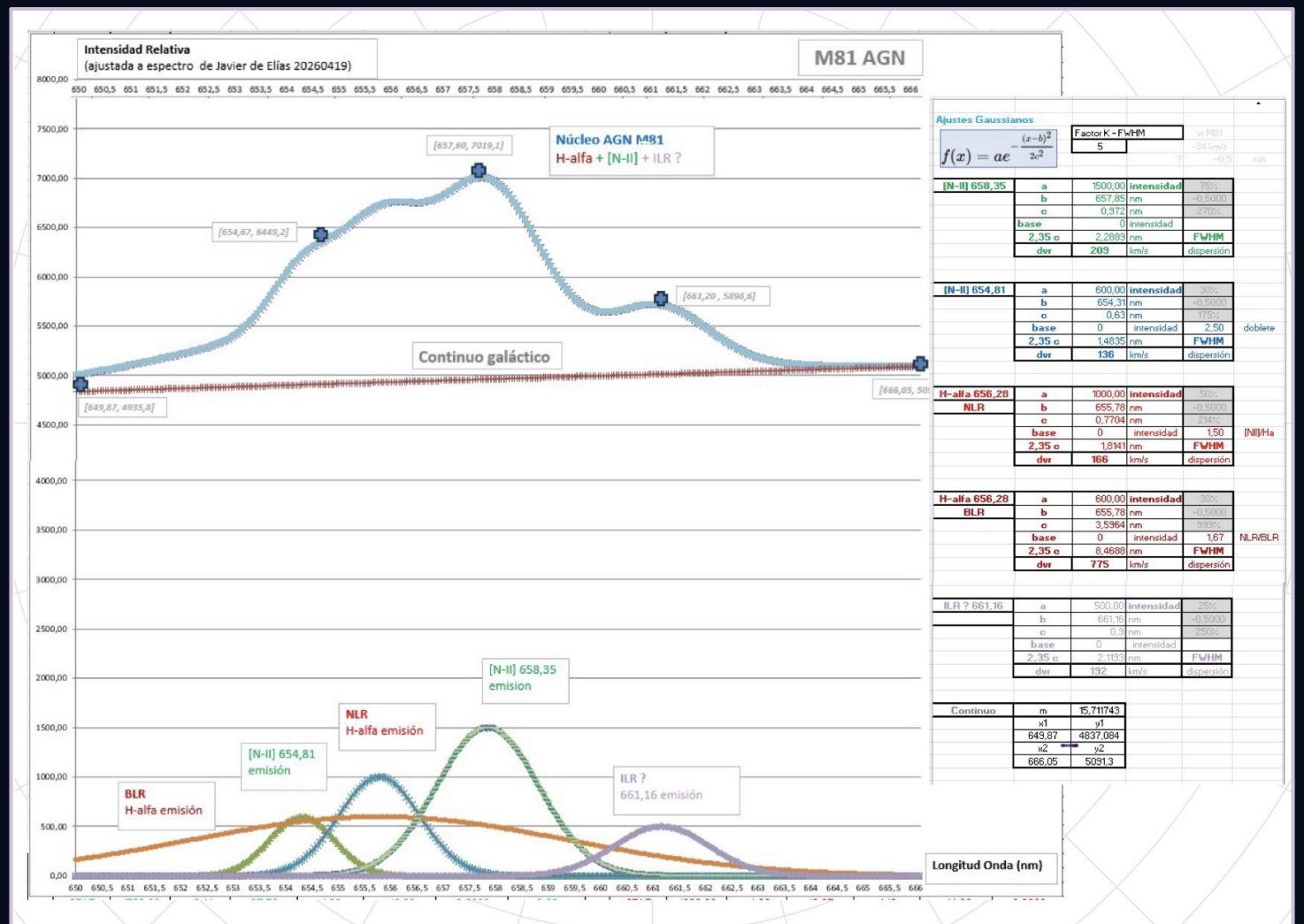
Modelo astrofísico de deconvolución degenerado por baja resolución.

Deconvolucionamos estas componentes para extraer información cinemática, con una modelización gaussiana multicomponente con intensidades y anchuras FWHM.

En este ajuste se sincroniza el modelo con el espectro medido, de modo que la suma coincida con la línea de emisión integrada.

Al tratarse de un espectro de baja resolución tenemos un riesgo implícito de degeneración en el ajuste gaussiano aplicado. Hemos aplicado varios criterios astrofísicos tanto a las intensidades y como a las anchuras FWHM de las líneas de emisión componentes.

La dispersión de velocidades reales del gas se vincula directamente a la anchura a media altura espectral (FWHM) de la componente.



Cálculos astrofísicos – Parámetros del Agujero Negro Central

Modelo Relativista de Kerr

Dispersión de Velocidades

A partir del ancho FWHM de la línea NLR

$$\sigma_c = 166 \text{ km/s}$$

Masa Agujero Negro Central

Con la ecuación de Gallagher - Sparke

80 Masas Solares
millones

$$M_{BH} = 2 \times 10^8 M_{\odot} \frac{166^{4.86}}{200} \approx 80 \times 10^6 M_{\odot}$$

Radio Estático R_s

A partir de la Métrica de Schwarzschild

R_s

$$236.2 \times 10^6 \text{ km}$$

$$a^* \approx 0.99$$

Radio Horizonte Kerr

A partir de la Métrica de Kerr

R_H

$$134.6 \times 10^6 \text{ km}$$

Radio Ecuatorial Ergoesfera

R_{ergo}

$$236.2 \times 10^6 \text{ km}$$

Radio Órbita Estable Interna

R_{ISCO}

$$172.0 \times 10^6 \text{ km}$$

AGUJERO NEGRO CENTRAL y TOROIDE GAS-POLVO

AGUJERO NEGRO
ESTÁTICO

$$R_s = \frac{2GM_{BH}}{c^2} \approx 3 \frac{M_{BH}}{M_{\odot}} \text{ km} \approx 2 \frac{M_{BH}}{10^8 M_{\odot}} \text{ AU}$$

$$R_s = 240 \cdot 10^6 \text{ km} = 1.6 \text{ AU}$$

~ órbita Marte

AGUJERO NEGRO
ROTANTE KERR

$$R_H = \frac{R_s}{2} (1 + \sqrt{1 - a^{*2}})$$

$$a^* = 0.99 \text{ rota a máxima velocidad}$$

$$\text{Horizonte } R_H = 0.90 \text{ AU}$$

$$\text{Velocidad Rotación } 0.87c$$

54 min

$$\text{Ergoesfera } R_{ergo} = R_s = 1.58$$

Ecuador T 18 horas

$$G = 1.327 \cdot 10^{11} \frac{\text{km}^3}{M_{\odot} \cdot s^2}$$

$$1 \text{ pc} = 206.265 \text{ AU}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ al}$$

TOROIDE GAS-POLVO

$$M_{BH} = f \cdot \frac{R \cdot \dot{M}^2}{G} \text{ Teorema Virial}$$

$$R_T = \frac{G}{f} \cdot \frac{M_{BH}}{\dot{M}^2} \quad f \sim 4.3$$

$$\text{NLR } 166 \frac{\text{km}}{s}$$

$$R_{NLR} = 0.597 \cdot 10^6 \text{ AU} = 2.90 \text{ pc} = 9.44 \text{ al}$$

$$\text{BLR } 775 \frac{\text{km}}{s}$$

$$R_{BLR} = 27.4 \cdot 10^3 \text{ AU} = 0.13 \text{ pc} = 0.43 \text{ al}$$

$$T_{BLR} = \frac{2\pi R}{G} = 33.3 \cdot 10^5 = 1056 \text{ años}$$

factor geométrico distribución partículas
depende geometría gaseosa e inclinación

distribución esférica e isotrópica factor virial $f \sim 3$ $f \sim 4.3$ $f \sim 5.1$
NLR BLR

| Cálculos astrofísicos – Parámetros del Toroide de Gas y Polvo

Teorema del Virial

● Dispersión de Velocidades

A partir del ancho FWHM de la línea NLR

166 km/s

● Radio Externo Toroide

A partir del ancho FWHM de la línea NLR

9,44 años luz

> distancia estrella Sirio

● Dispersión de Velocidades

A partir del ancho FWHM de la línea BLR

775 km/s

● Radio Interno Toroide

A partir del ancho FWHM de la línea BLR

0,43 años luz

Aprox. distancia Nube de Oort

AGUJERO NEGRO CENTRAL Y TOROIDE GAS-POLVO

AGUJERO NEGRO
ESTÁTICO

$$R_s = \frac{2GM_{BH}}{c^2} \approx 3 \frac{M_{BH}}{M_\odot} \text{ km} \approx 2 \frac{M_{BH}}{10^6 M_\odot} \text{ AU}$$

$$R_s = 240 \cdot 10^6 \text{ km} = 1,6 \text{ AU}$$

~ órbita Marte

AGUJERO NEGRO
ROTANTE KERR

$$R_H = \frac{R_s}{2} (1 + \sqrt{1 - a^2})$$

$a^* = 0,99$ rota a máxima velocidad!

Horizonte $R_H = 0,90 \text{ AU}$

Velocidad Rotación $0,87c$
54 min

Ergoesfera $R_{ergo} = R_s = 1,58$
Ecuador $T = 18 \text{ horas}$

$$G = 1,327 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\text{km}^3}{M_\odot \cdot s^2}$$

$$1 \text{ pc} = 206.265 \text{ AU}$$

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ al}$$

TOROIDE GAS-POLVO

$$M_{BH} = f \cdot \frac{R \cdot \sigma^2}{G} \quad \text{Teorema Virial}$$

$$R_T = \frac{G}{f} \cdot \frac{M_{BH}}{\sigma^2} \quad f \sim 4,3$$

NLR $166 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

$$R_{NLR} = 0,597 \cdot 10^6 \text{ AU} = 2,90 \text{ pc} = 9,44 \text{ al}$$

BLR $775 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

$$R_{BLR} = 27,4 \cdot 10^3 \text{ AU} = 0,13 \text{ pc} = 0,43 \text{ al}$$

$$T_{BLR} = \frac{2\pi R}{G} = 33,3 \cdot 10^9 = 1056 \text{ años}$$

f factor geométrico distribución partículas
depende geometría galaxia e inclinación

distancia elíptica e inclinación factor $f \sim 3$ $f \sim 4,3$ $f \sim 5,1$
NLR

ANATOMÍA DEL NÚCLEO ACTIVO (AGN) DE M81*

ESTRUCTURA DEL TOROIDE Y DATOS ORBITALES



INFOGRAFÍA ACTUALIZADA DEL AGUJERO NEGRO CENTRAL DE M81 (M81*)

MODELO DE KERR PARA MASA DE 80 MILLONES DE MASAS SOLARES Y ALTA ROTACIÓN ($a^* \approx 0.99$)

DATOS CLAVE ($M_{\text{BH}} = 80$ MILLONES $M_{\odot}$)

M_{BH} MASA (M_{BH})
 $= 8 \times 10^7 M_{\odot}$
(80 MILLONES MASAS SOLARES)

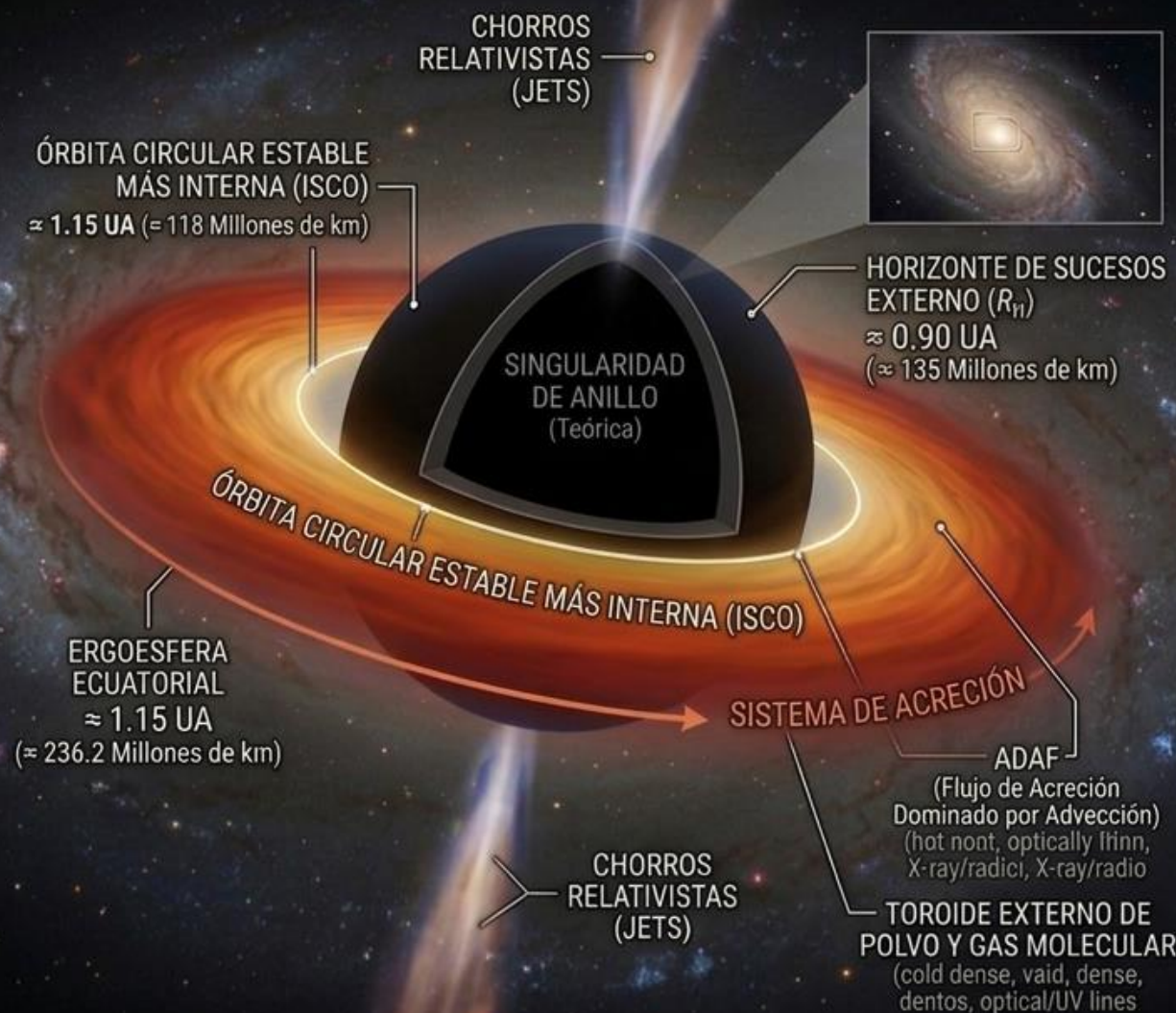
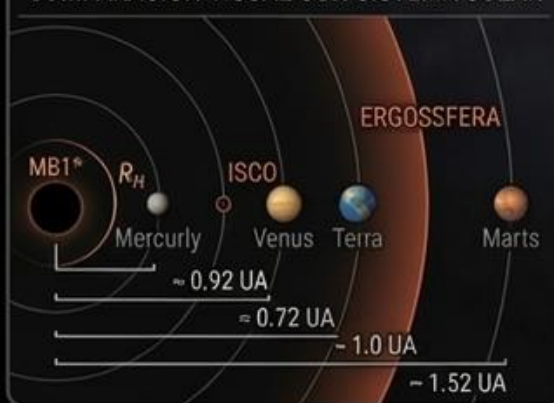
a^* ESPÍN (a^*) ≈ 0.99
Cercano al límite máximo

RADIO HORIZONTE (R_H) =
 ≈ 0.90 UA

RADIO ISCO = ≈ 1.15 UA

ERGOSSFERA ECUATORIAL =
 ≈ 1.58 UA

COMPARACIÓN VISUAL CON SISTEMA SOLAR



ESTRUCTURA DE ACRECIÓN



VISUALIZACIÓN DE FRONTERAS (KERR)



VISUALIZACIÓN DE FRONTERAS (KERR)



Conclusiones del Estudio del Núcleo Galáctico Activo (AGN) de M81



Clasificación y Naturaleza LINER del AGN

Se confirma a M81 como una galaxia de tipo LINER de baja luminosidad.

Responde al Modelo Unificado de AGN, donde la inclinación de la galaxia deja al descubierto tanto la emisión ancha (BLR) como la estrecha (NLR).



Agujero Negro Central (SMBH / M81*)

Modelización de M81* mediante la métrica de Kerr (Agujero Negro Rotante) con un parámetro de espín a 0.9.

Estimación de una masa de 80 millones de masas solares, consistente con las relaciones dinámicas observadas.



Estructura del Toroide y Cinemática

Delimitación cinemática del entorno central mediante la FWHM espectral:

BLR (Región Ancha): v 775 km/s r 0.43 a.l.

NLR (Región Estrecha): v 166 km/s r 9.44 a.l.



Validación Instrumental Amateur

Demostrada la viabilidad de estimar parámetros relativistas y cinemáticos galácticos mediante equipamiento amateur (red difracción SA100 con rendija de 35 micras).