

Análisis del ancho de los brazos de cinco galaxias espirales en el cartografiado CALIFA

Maestría en Física
Lina Marcela Giraldo

Asesores
Esteban Silva Villa
Jorge Barrera Ballesteros



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1803



Universidad Nacional
Autónoma de México

Objetivo

Estudiar el **ancho de brazos en galaxias espirales** usando una muestra de galaxias observadas mediante la técnica de espectroscopia de campo integral del cartografiado CALIFA.



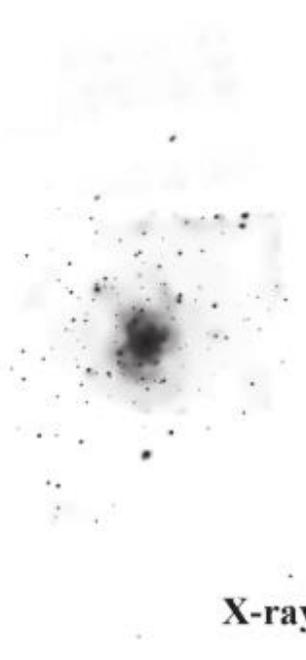
Introducción

Introducción: M 81

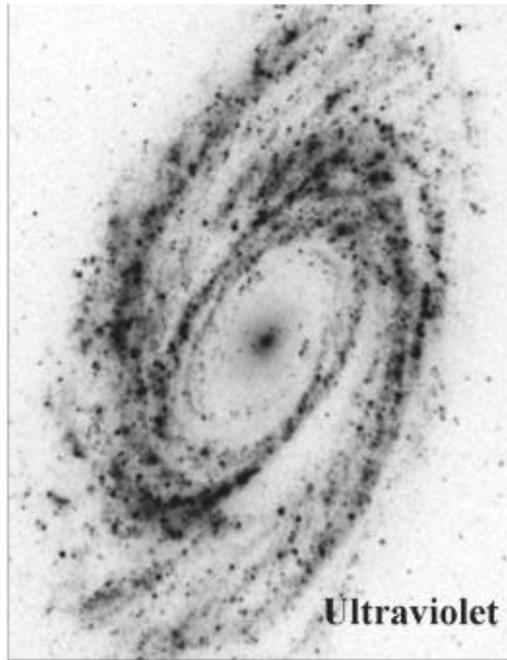
Crédito: NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

Introducción: ¿Cuáles son los brazos?

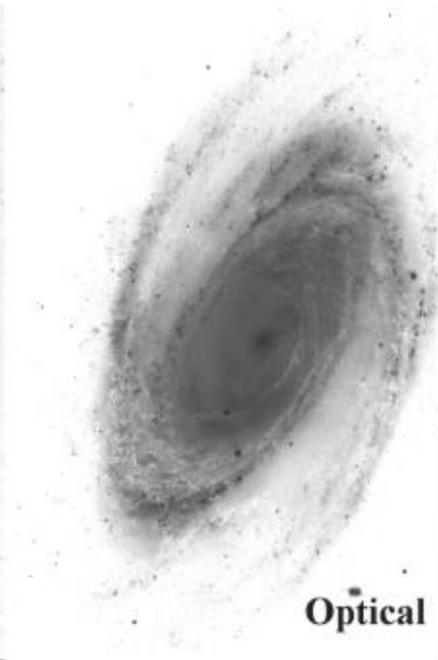
M 81



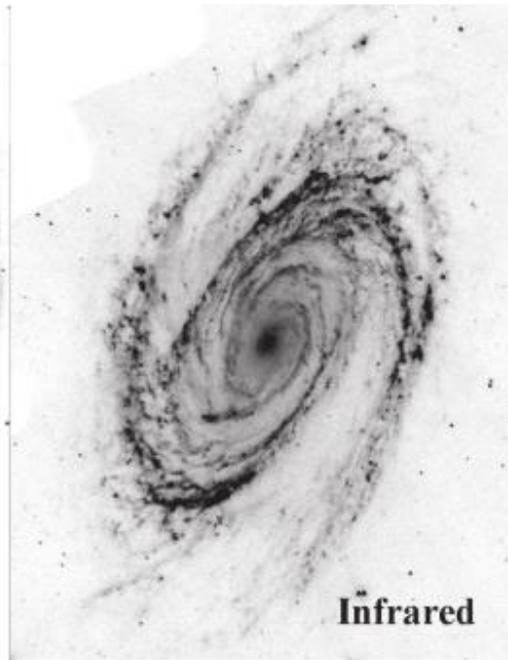
X-ray



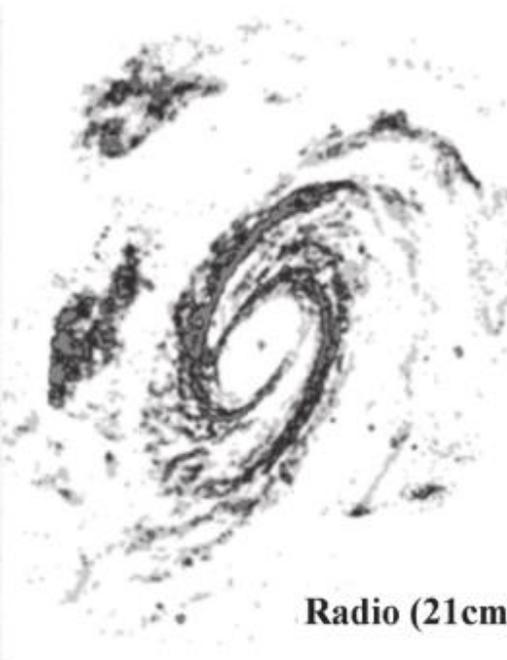
Ultraviolet



Optical



Infrared



Radio (21cm)

Ferreras (2019)



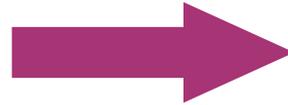
Datos

The Calar Alto Legacy Integral Field Area survey (CALIFA survey)

Observatorio Astronómico Calar Alto



Telescopio de 3.5 m



PMAS - Potsdam MultiAperture Spectrophotometer

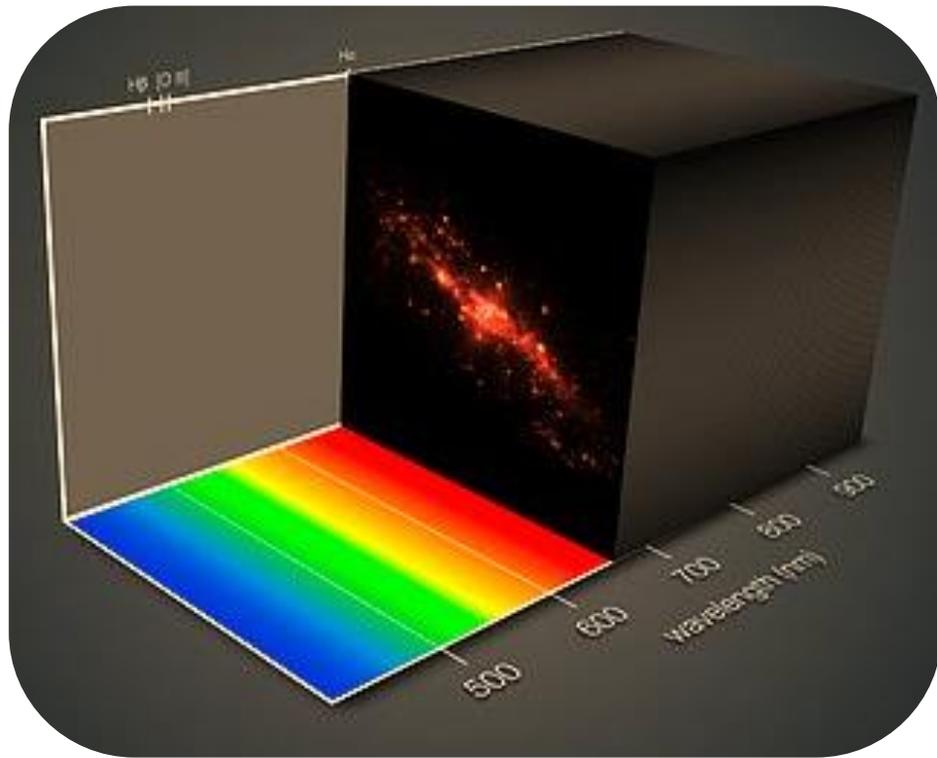


Técnicas de observación (IFU)



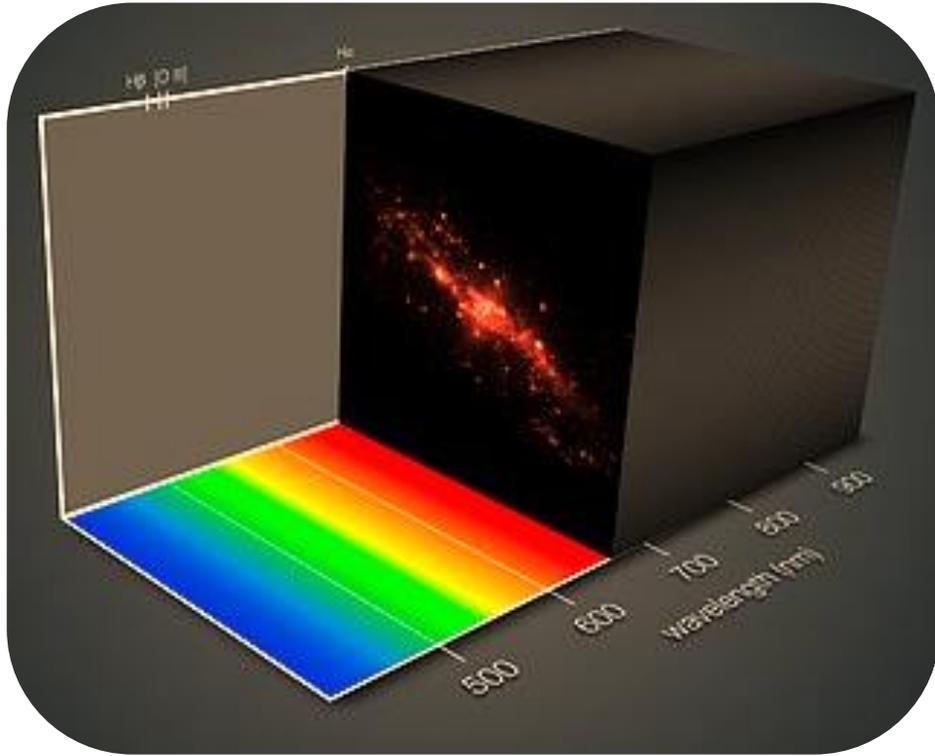
PPak
(hexagonal)
FoV > 1 arcmin²

Datos: cartografiado CALIFA



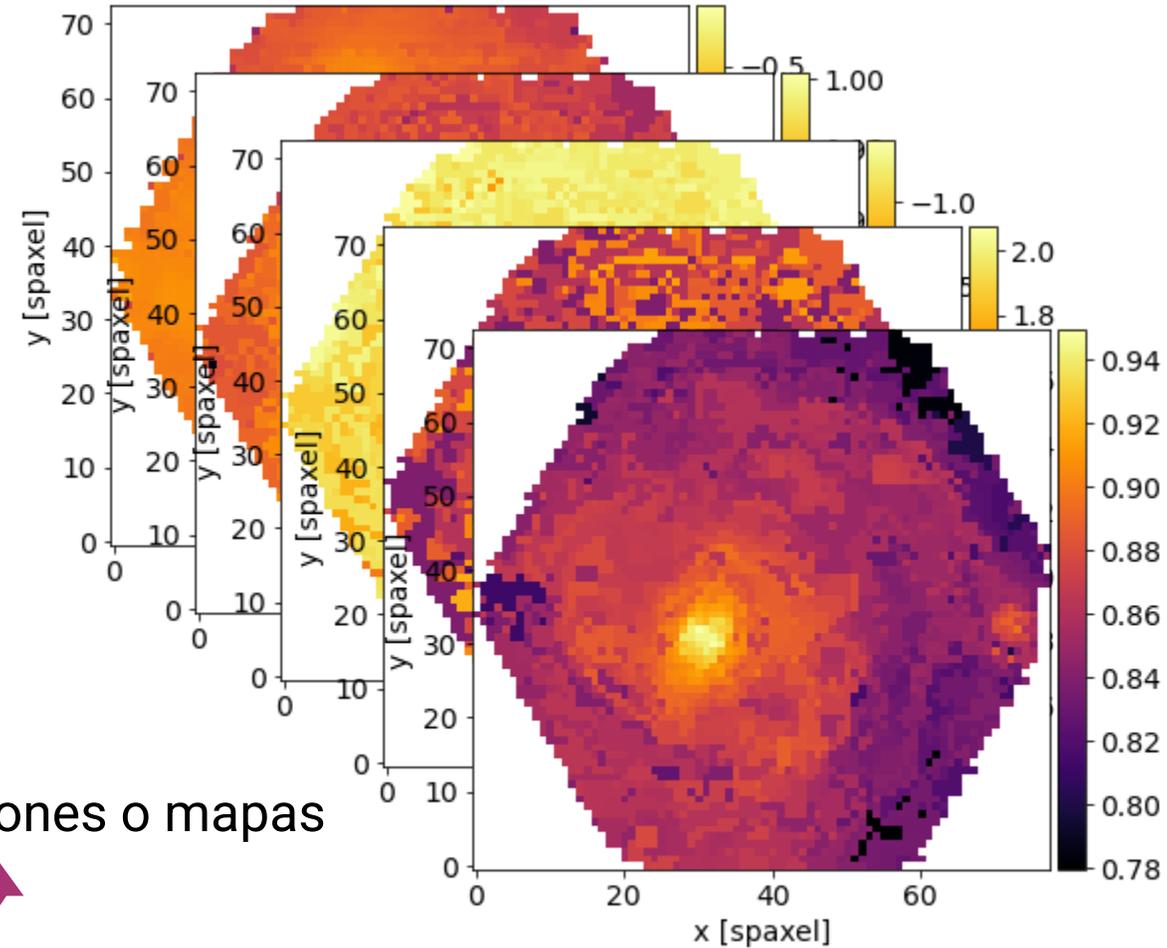
Cubos de datos

Datos: cartografiado CALIFA



Cubos de datos

Colecciones o mapas



The Calar Alto Legacy Integral Field Area survey

Datos: Galaxias de estudio

NGC 7653



NGC 0776



Distancia [Mpc]



52

63

65

72

87

UGC 12224



NGC 0234



NGC 0309



Datos: Galaxias de estudio

NGC 7653



NGC 0776



Distancia [Mpc]



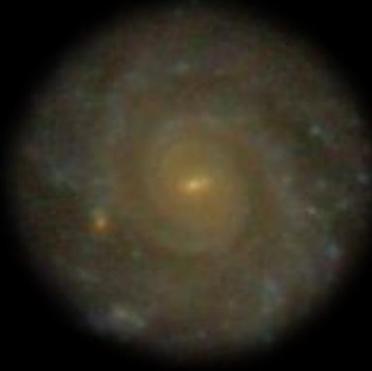
52

63

65

72

87



UGC 12224



NGC 0234



NGC 0309

Datos: Galaxias de estudio

Inclinaciones $< 35^\circ$

NGC 7653



NGC 0776



Distancia [Mpc]



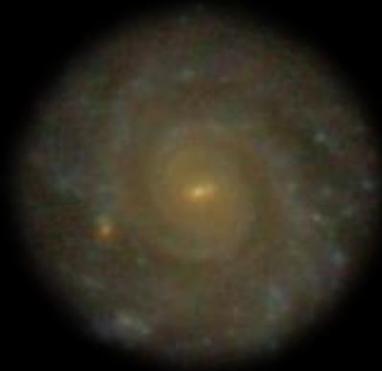
52

63

65

72

87



UGC 12224



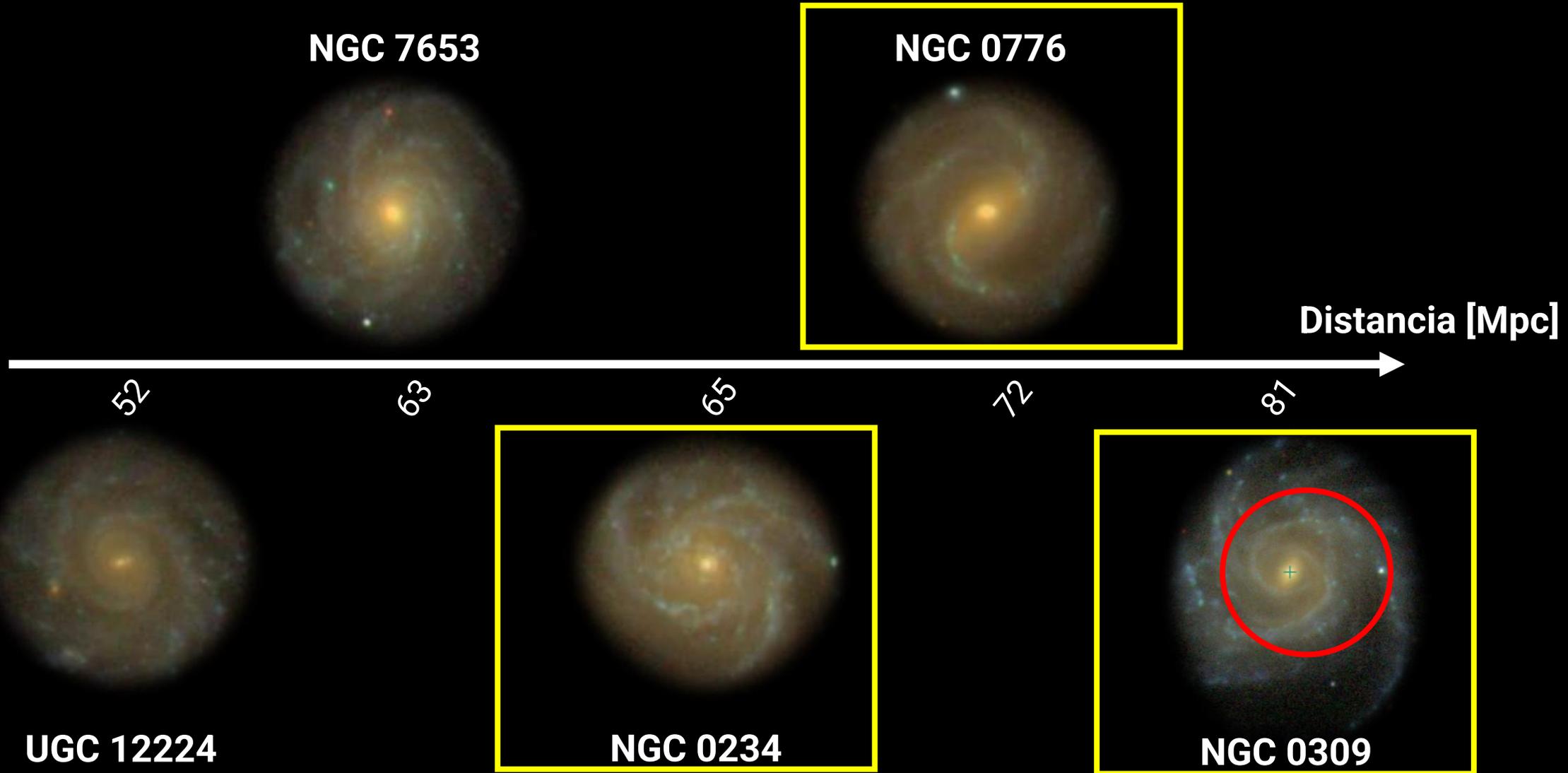
NGC 0234



NGC 0309

Semibarradas

Datos: Galaxias de estudio



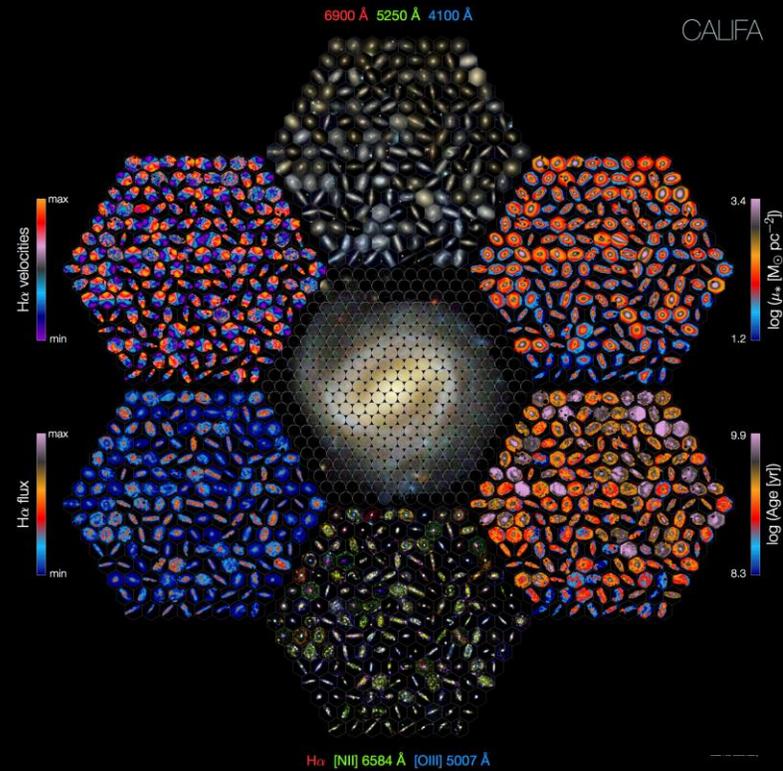


Metodología

Metodología: Selección de galaxias

~900

galaxias de CALIFA



Crédito: CALIFA collaboration

Metodología: Selección de galaxias

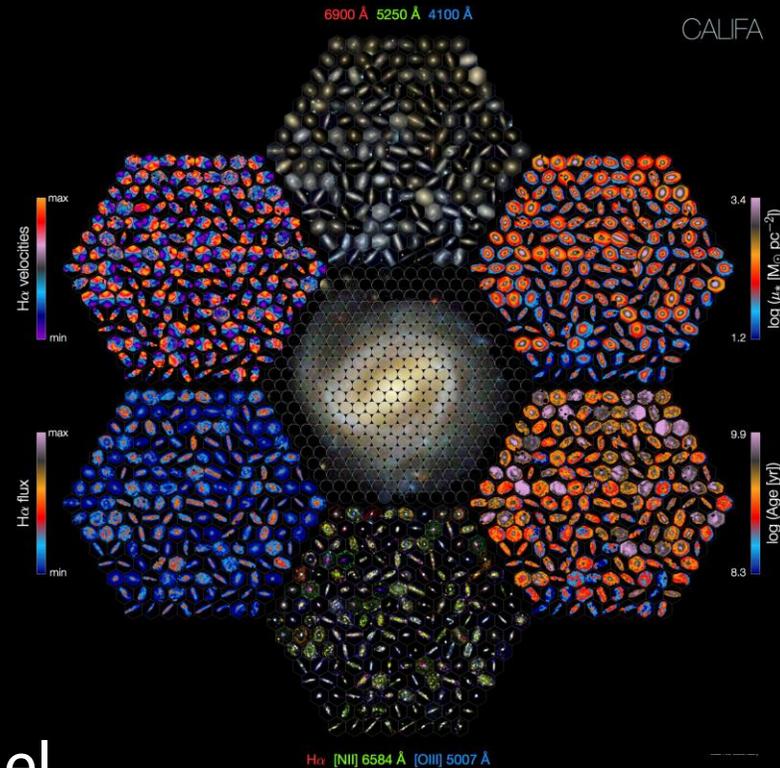
~900

galaxias de CALIFA

177

galaxias con:

- Inclinationes $< 40^\circ$.
- Brazos espirales en el visible.



Crédito: CALIFA collaboration

Metodología: Selección de galaxias

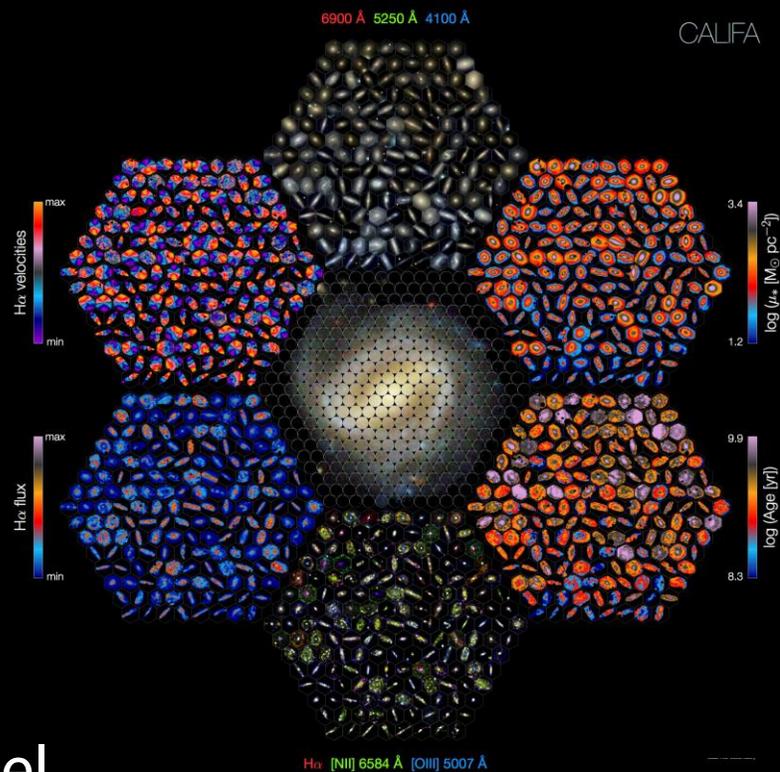
~900

galaxias de CALIFA

177

galaxias con:

- Inclinationes $< 40^\circ$.
- Brazos espirales en el visible.



5

Galaxias finales

- De preferencia galaxias aisladas.
- La mejor estructura espiral en el visible.
- Baja inclinación.

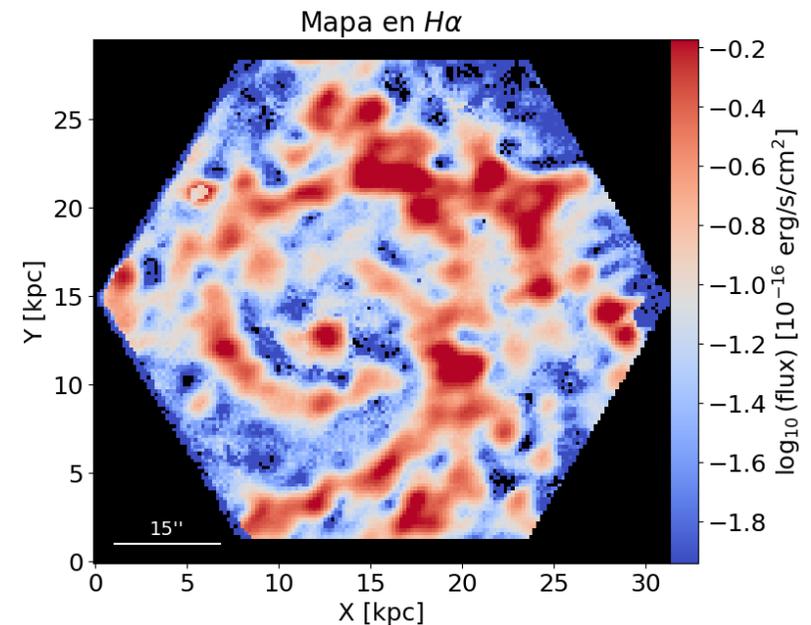
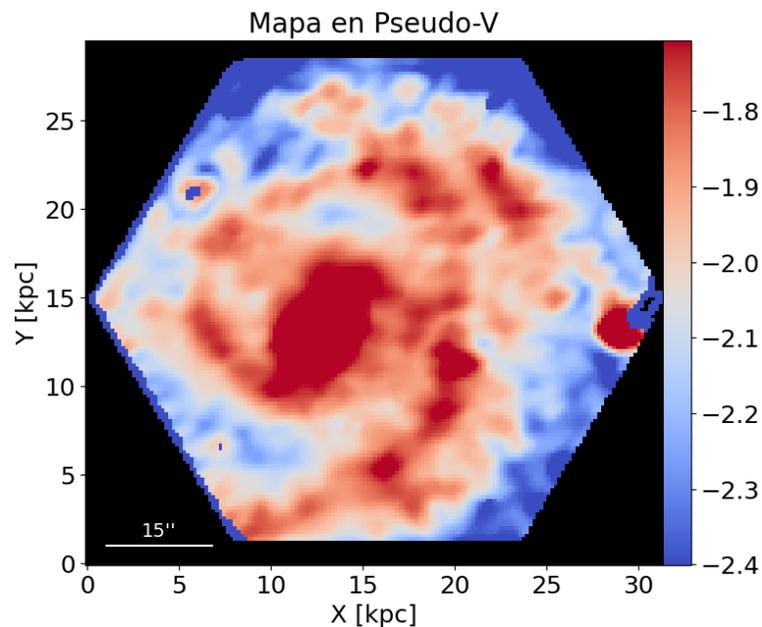
Crédito: CALIFA collaboration

Metodología: trazadores de brazos espirales

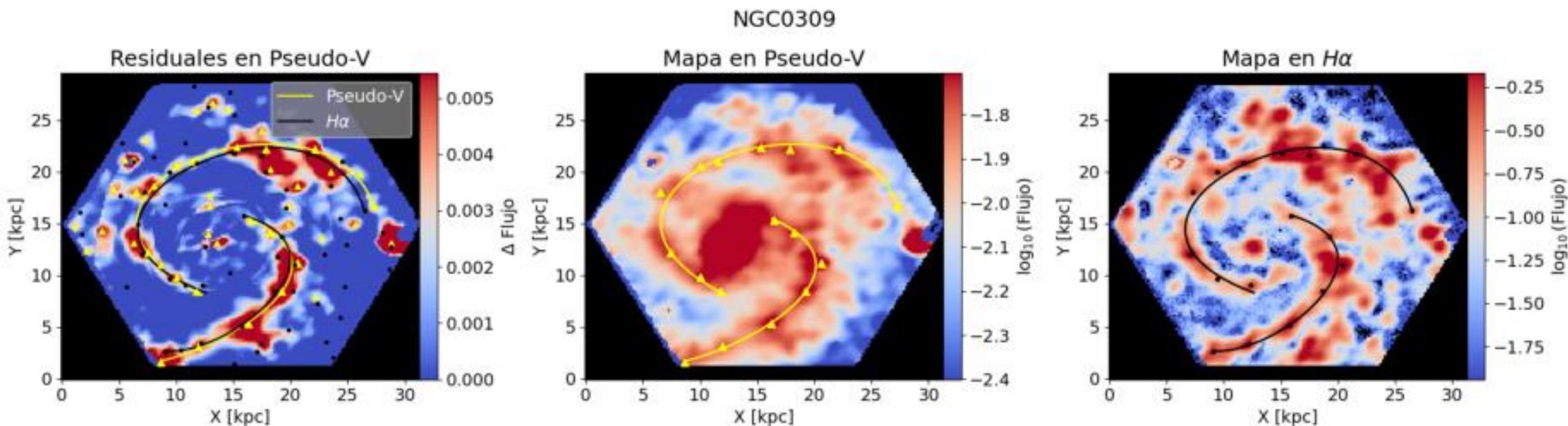
Trazador

Propiedad física medible que permite analizar la estructura y dinámica de los brazos espirales.

NGC0309



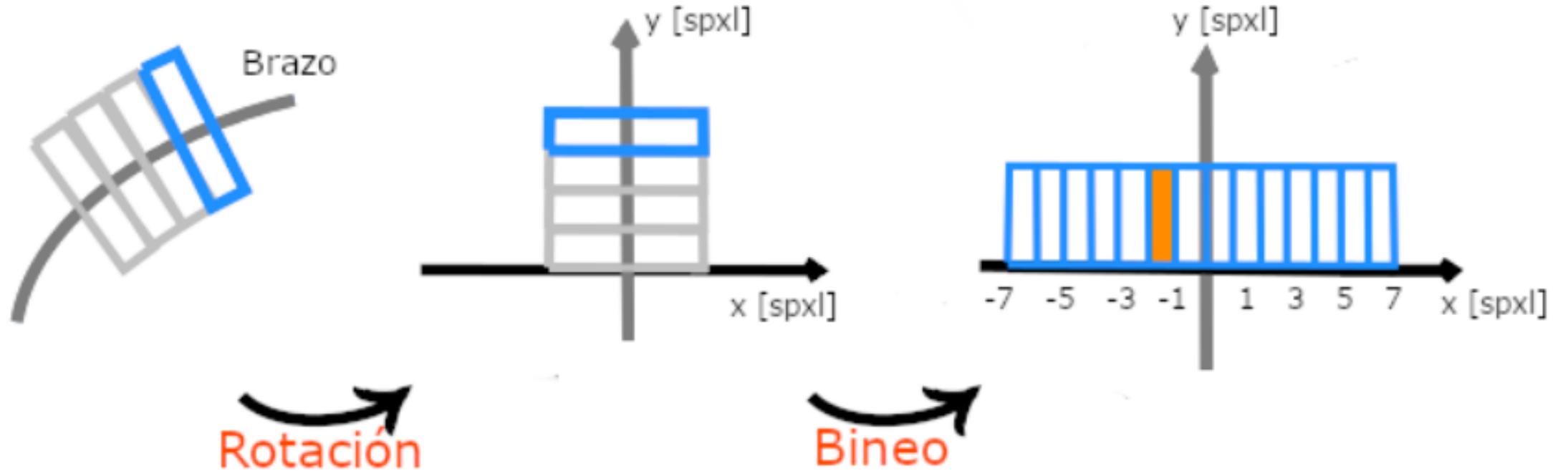
Metodología: Trazado de los brazos



scikit-image
image processing in python

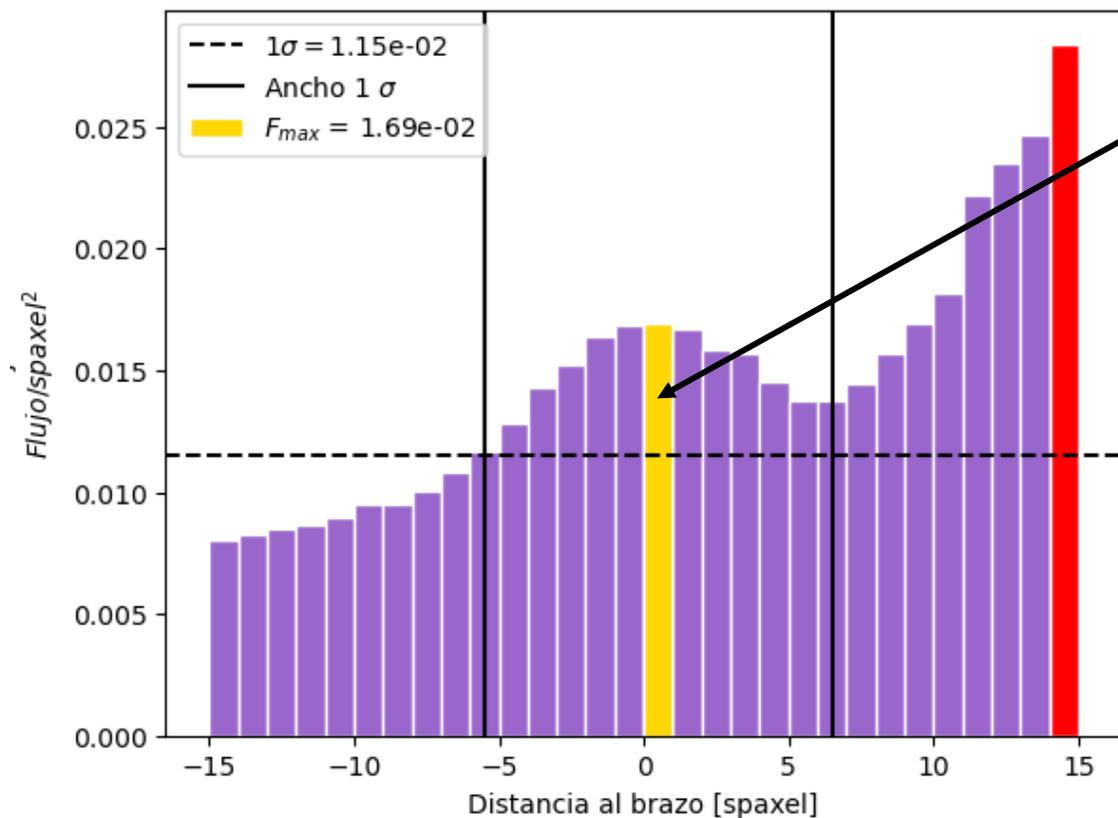
- Detección de picos
- Cruzar información de ambos trazadores
- Ordenamiento angular
- Ajuste por Spline Cúbico

Metodología: Ancho de los brazos



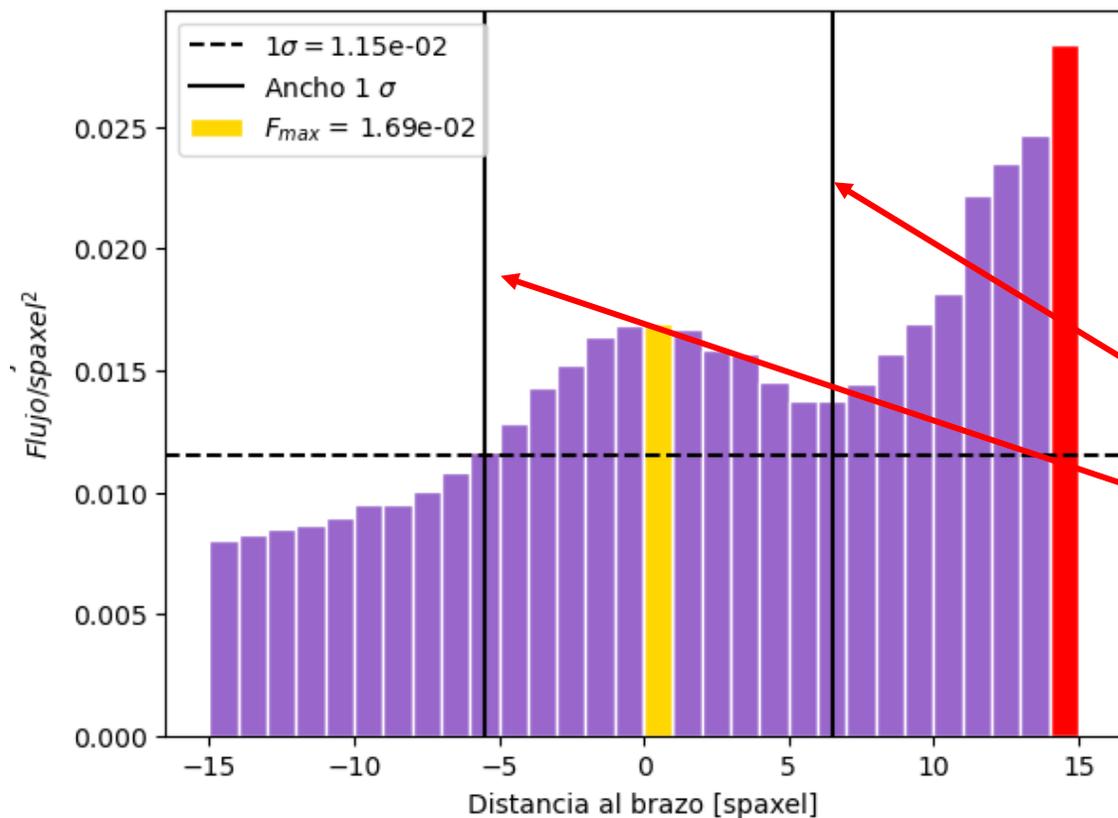
$$\text{Densidad de flujo por bin} = \frac{\sum \text{Flujo en bin}}{\#\text{spaxels en bin}}$$

Metodología: Ancho de los brazos por 1σ



- Identificar el pico de flujo asociado al brazo

Metodología: Ancho de los brazos por 1σ



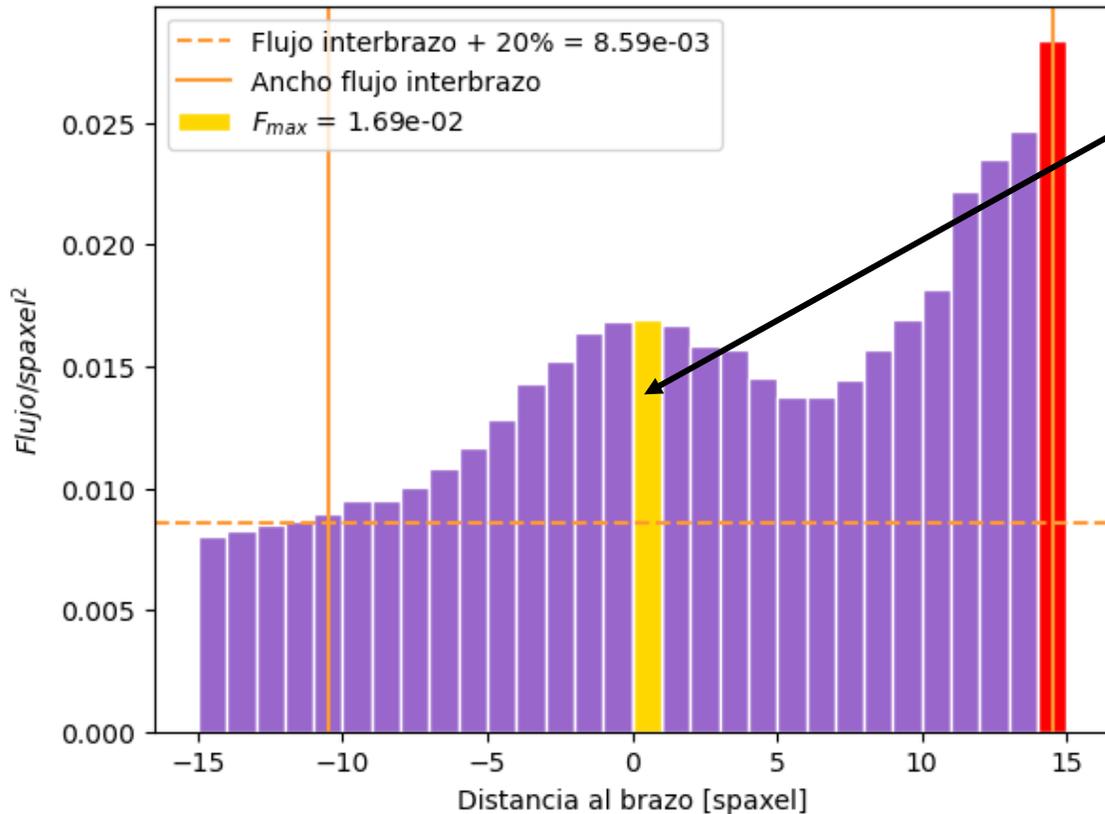
- Identificar el pico de flujo asociado al brazo.
- Asumir una distribución Gaussiana.

$$\sigma = 0.6827 \cdot F_{max}$$

$$F_{max} - \sigma$$

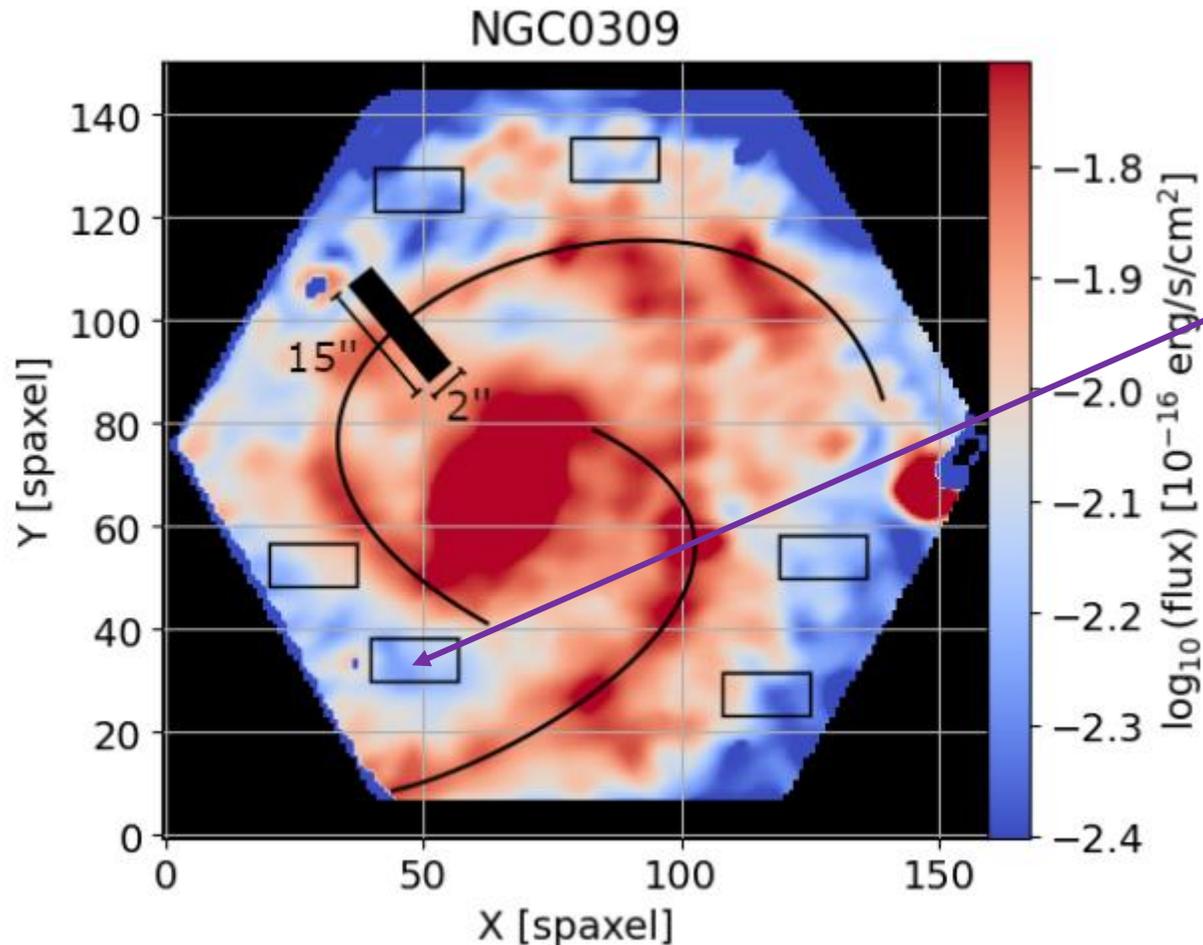
¡Ancho!

Metodología: Ancho de los brazos dado por densidad de flujo interbrazo



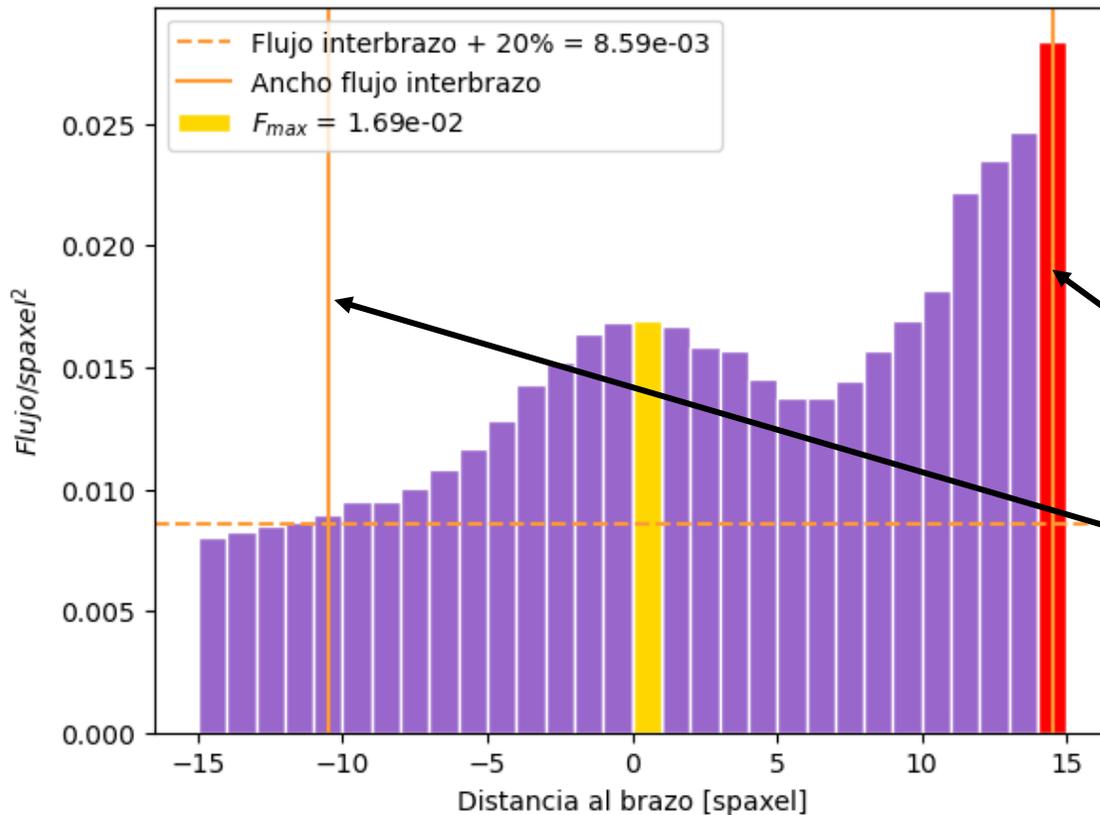
- Identificar el pico de flujo asociado al brazo

Metodología: Ancho de los brazos por densidad de flujo interbrazo



- Identificar el pico de flujo asociado **al brazo**
- Medir la densidad de flujo en **regiones externas** a los brazos.

Metodología: Ancho de los brazos por densidad de flujo interbrazo



- Identificar el pico de flujo asociado **al brazo**.
- Medir la densidad de flujo en **regiones externas** a los brazos.
- **Valor de referencia** es la densidad de flujo interbrazo incrementado en un 20 %.

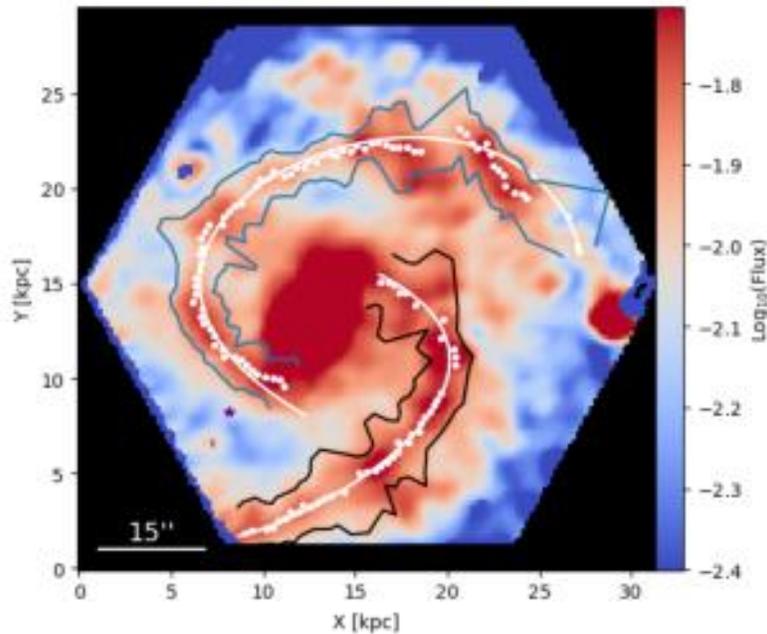
¡Ancho !



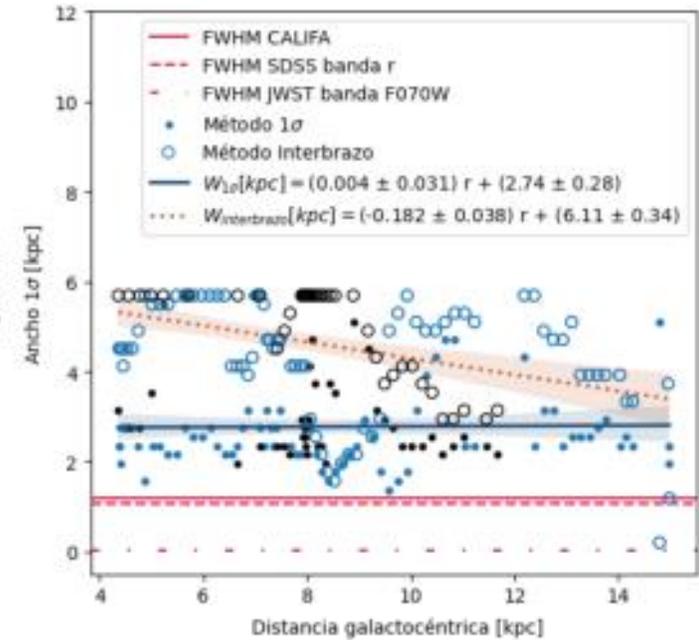
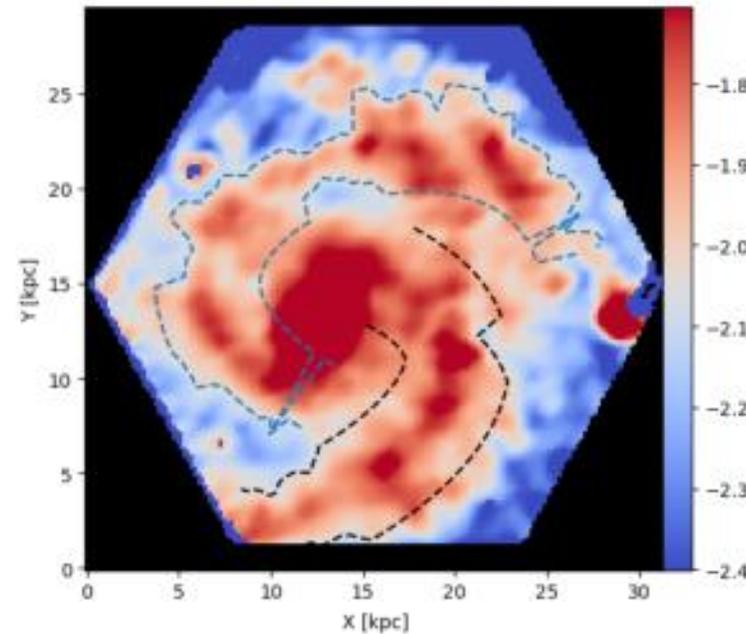
Resultados

Resultados: Ancho para NGC0309 en V

Método de 1σ

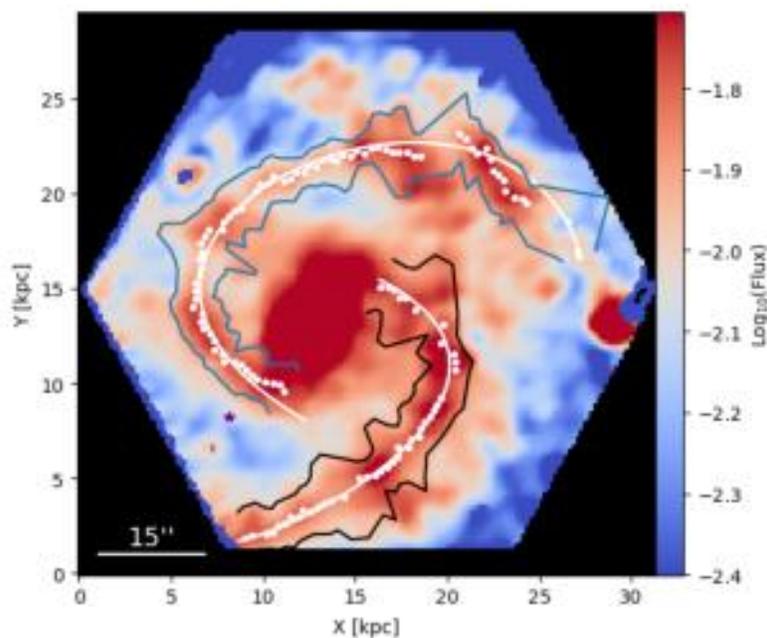


Método de flujo interbrazo

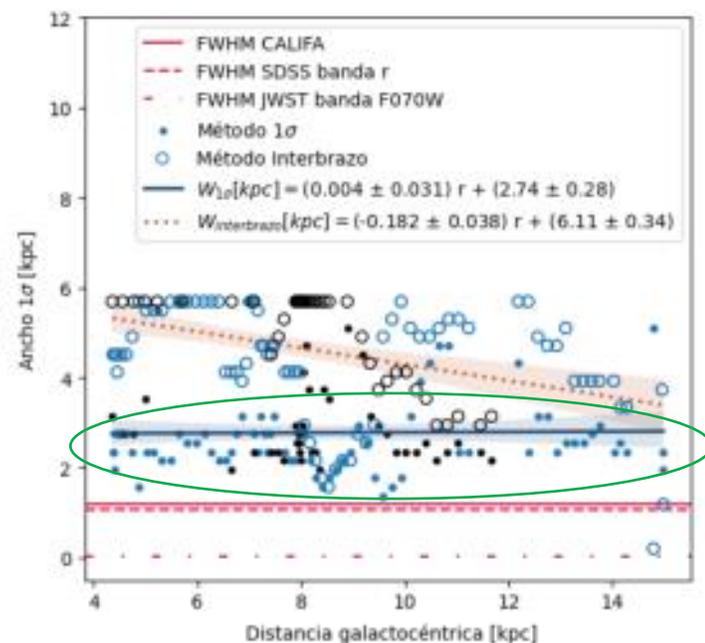
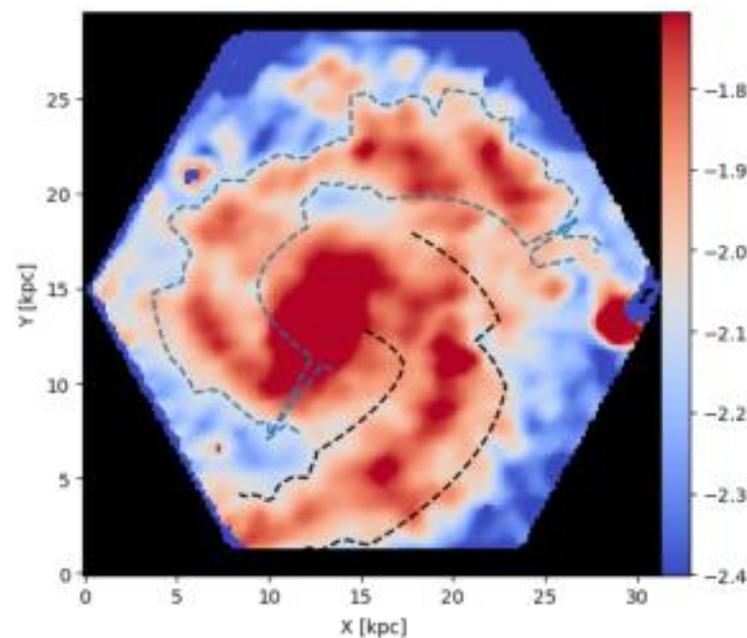


Resultados: Ancho para NGC0309 en V

Método de 1σ

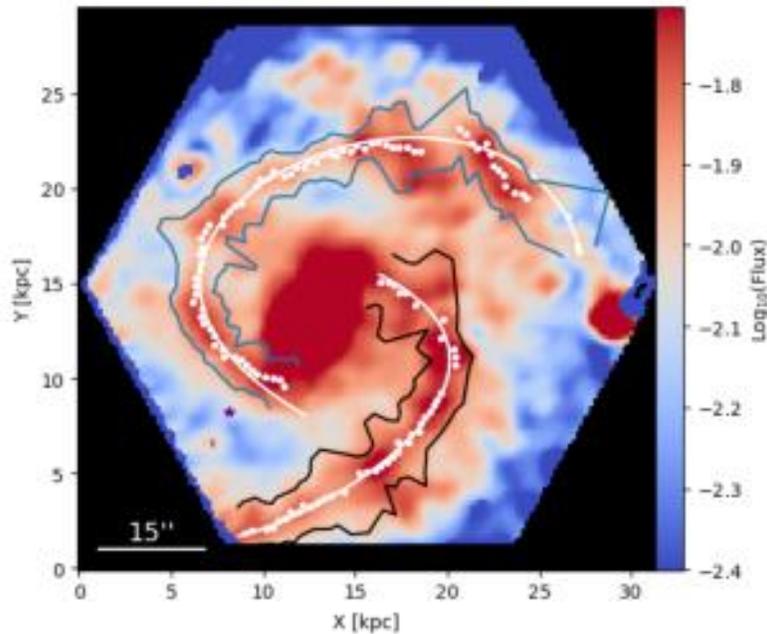


Método de flujo interbrazo

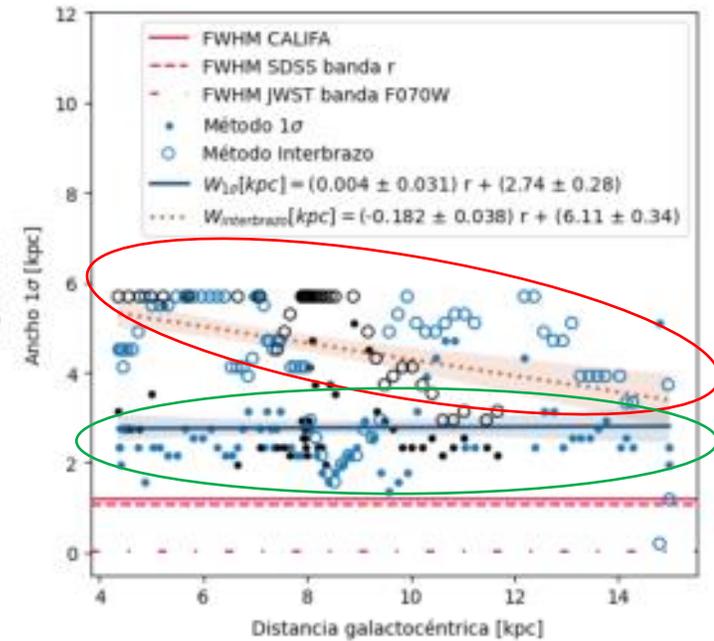
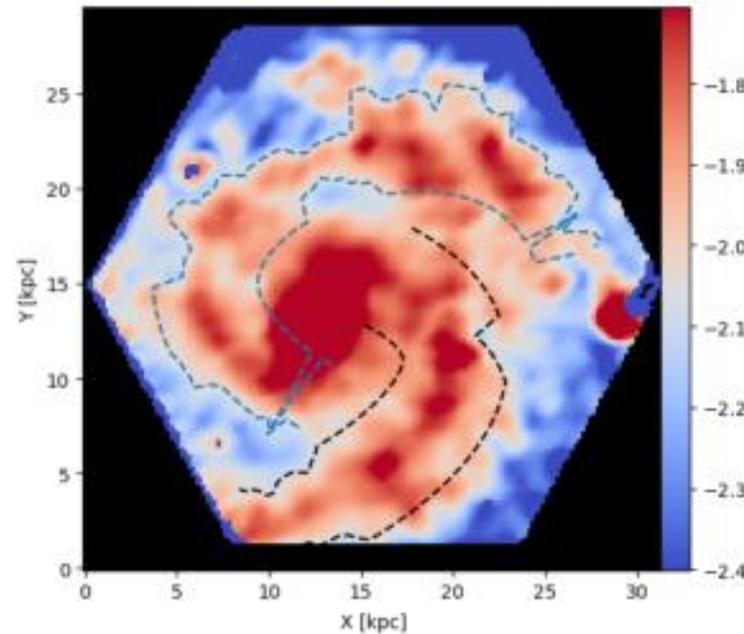


Resultados: Ancho para NGC0309 en V

Método de 1σ

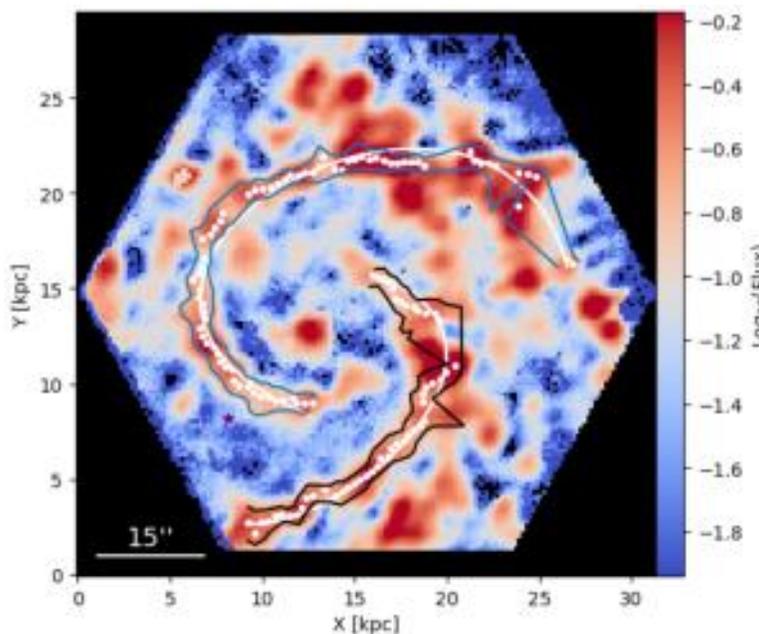


Método de flujo interbrazo

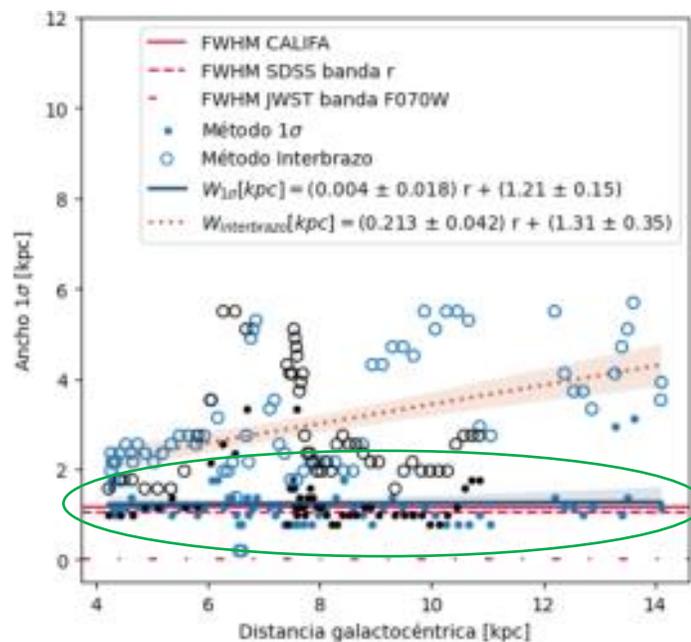
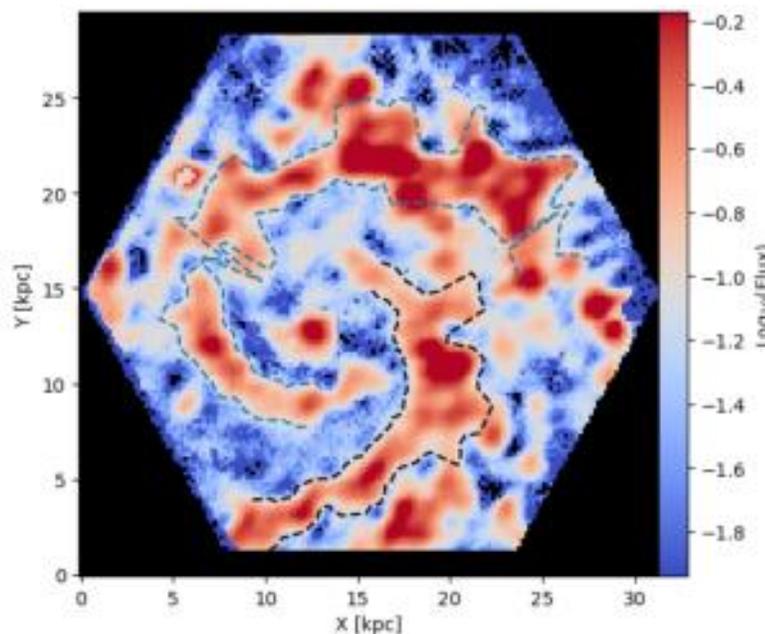


Resultados: Ancho para NGC0309 en $H\alpha$

Método de 1σ

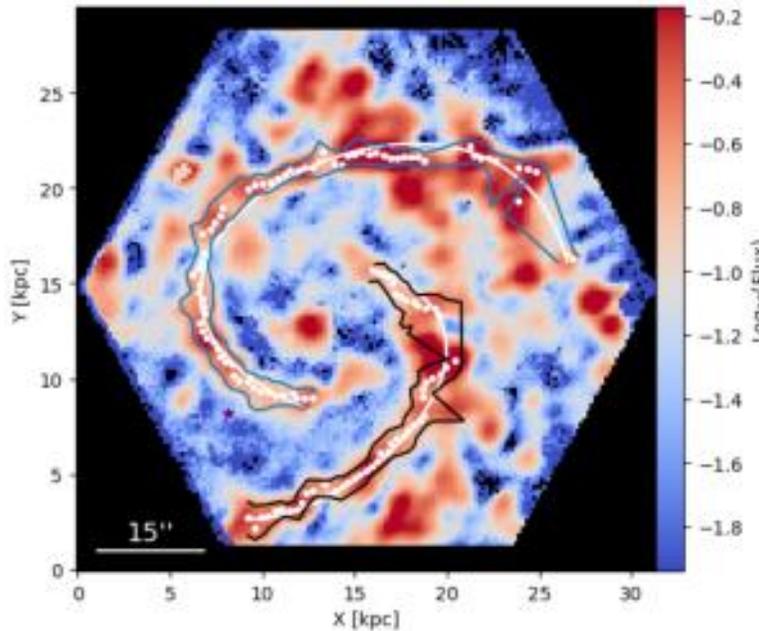


Método de flujo interbrazo

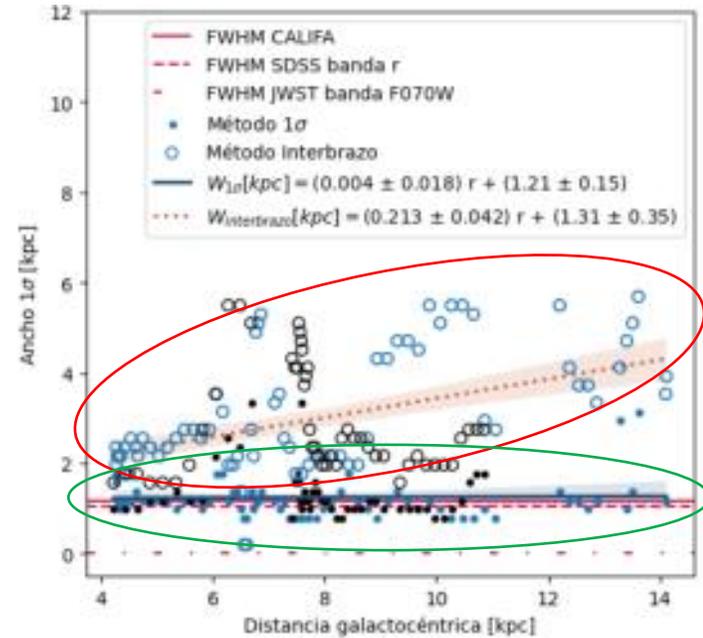
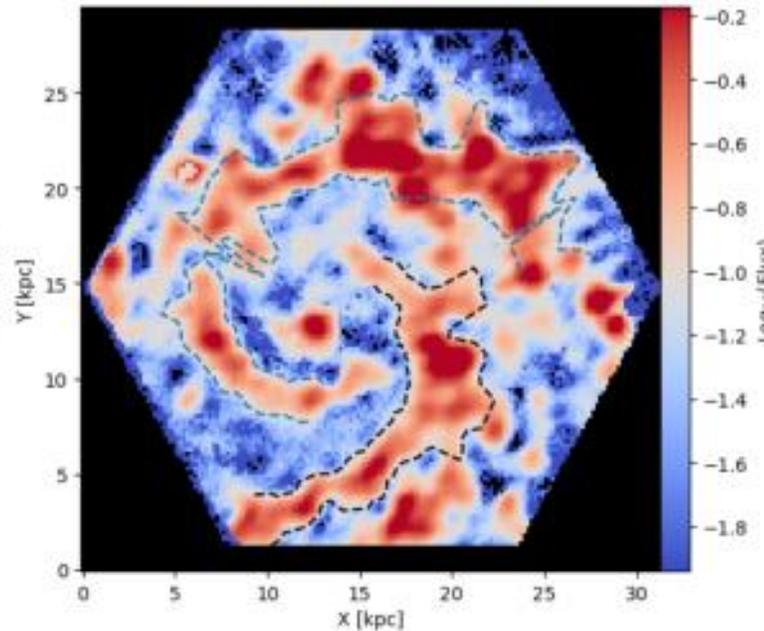


Resultados: Ancho para NGC0309 en $H\alpha$

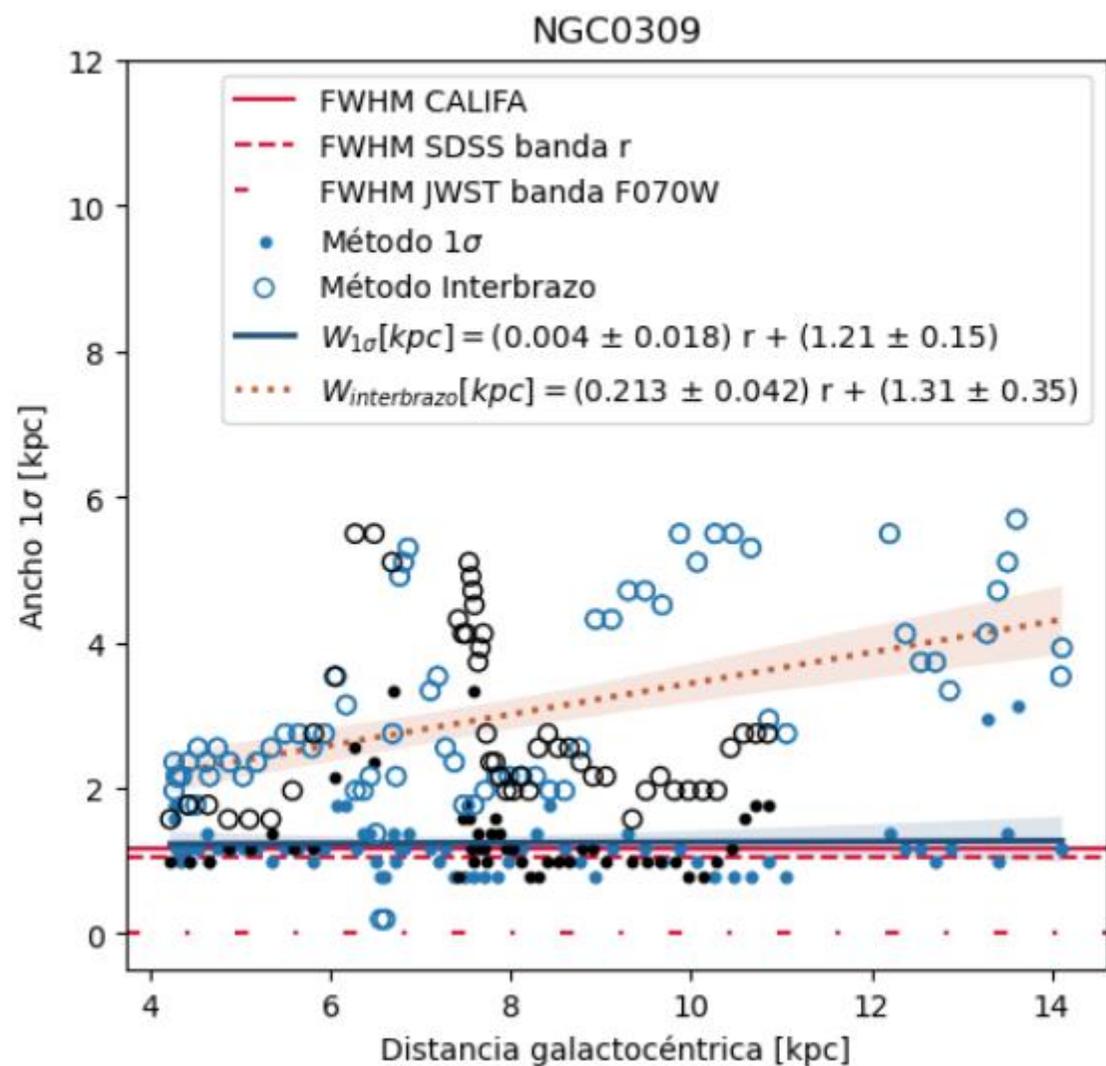
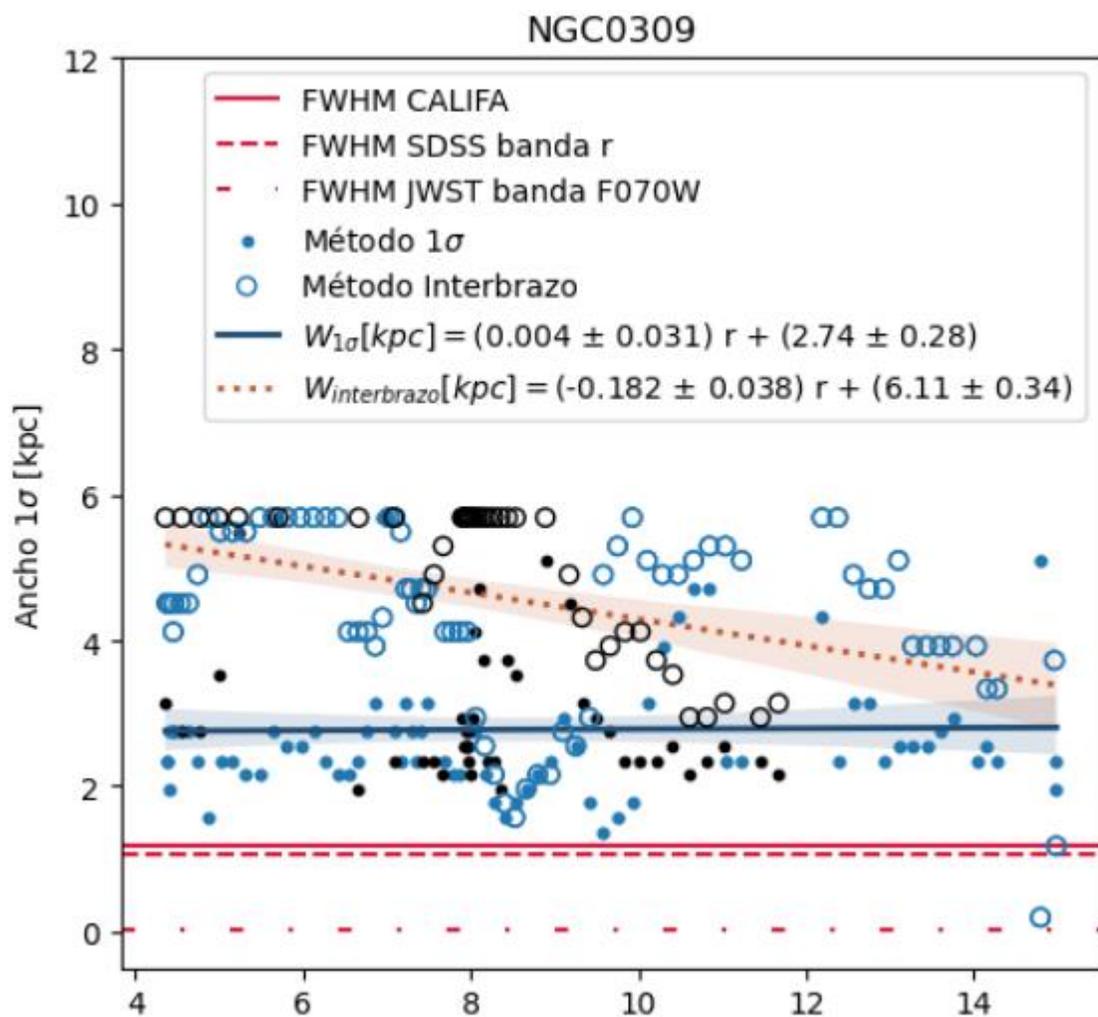
Método de 1σ



Método de flujo interbrazo



Resultados: Diferencia entre bandas



The effects of spatial resolution on integral field spectrograph surveys at different redshifts – The CALIFA perspective

D. Mast^{1,2}, F. F. Rosales-Ortega^{3,4}, S. F. Sánchez^{2,1}, J. M. Vílchez², J. Iglesias-Paramo^{2,1}, C. J. Walcher⁵,
B. Husemann⁵, I. Márquez², R. A. Marino⁶, R. C. Kennicutt⁷, A. Monreal-Ibero^{2,5}, L. Galbany⁸,
A. de Lorenzo-Cáceres⁹, J. Mendez-Abreu^{10,11}, C. Kehrig², A. del Olmo², M. Relaño¹², L. Wisotzki⁵,
E. Mármol-Queraltó^{10,11}, S. Bekeraitè⁵, P. Papaderos¹³, V. Wild⁹, J. A. L. Aguerri^{10,11}, J. Falcón-Barroso^{10,11},
D. J. Bomans^{14,15}, B. Ziegler¹⁶, B. García-Lorenzo^{10,11}, J. Bland-Hawthorn¹⁷,
Á. R. López-Sánchez^{18,19}, and G. van de Ven²⁰

(Affiliations can be found after the references)

Received 29 April 2013 / Accepted 15 November 2013

ABSTRACT

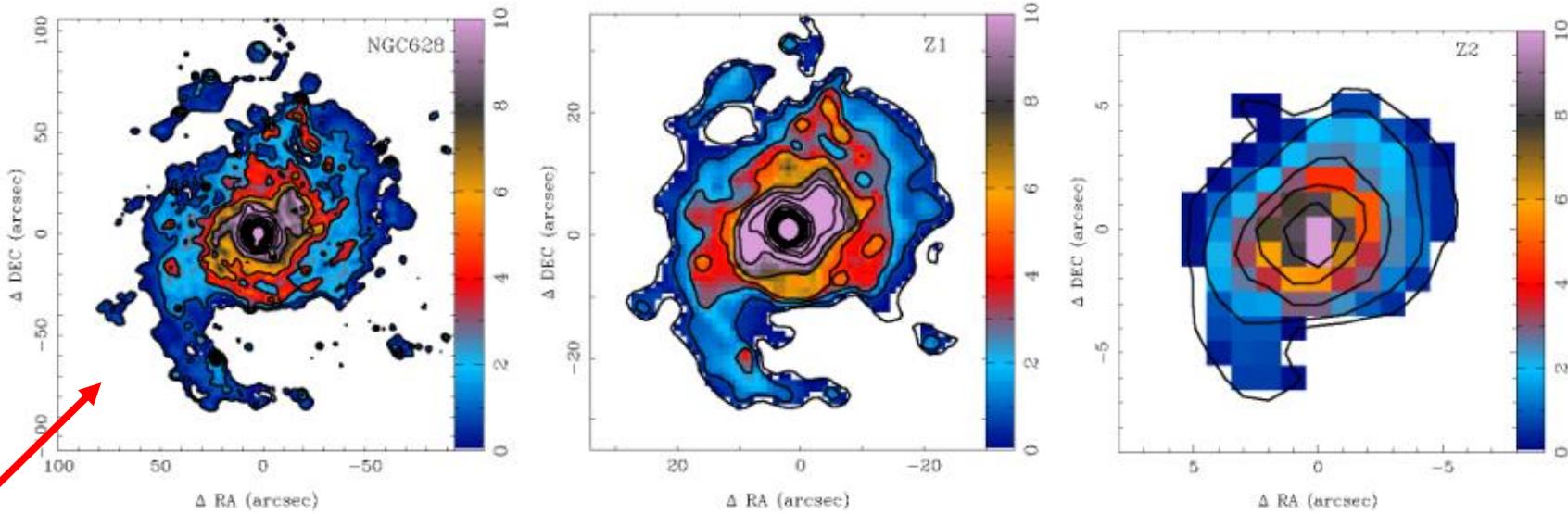
Context. Over the past decade, 3D optical spectroscopy has become the preferred tool for understanding the properties of galaxies and is now increasingly used to carry out galaxy surveys. Low redshift surveys include SAURON, DiskMass, ATLAS3D, PINGS, and VENGA. At redshifts above 0.7, surveys such as MASSIV, SINS, GLACE, and IMAGES have targeted the most luminous galaxies to study mainly their kinematic properties. The on-going CALIFA survey ($z \sim 0.02$) is the first of a series of upcoming integral field spectroscopy (IFS) surveys with large samples representative of the entire population of galaxies. Others include SAMI and MaNGA at lower redshift and the upcoming KMOS surveys at higher redshift. Given the importance of spatial scales in IFS surveys, the study of the effects of spatial resolution on the recovered parameters becomes important.

Aims. We explore the capability of the CALIFA survey and a hypothetical higher redshift survey to reproduce the properties of a sample of objects observed with better spatial resolution at lower redshift.

Methods. Using a sample of PINGS galaxies, we simulated observations at different redshifts. We then studied the behaviour of different parameters as the spatial resolution degrades with increasing redshift.

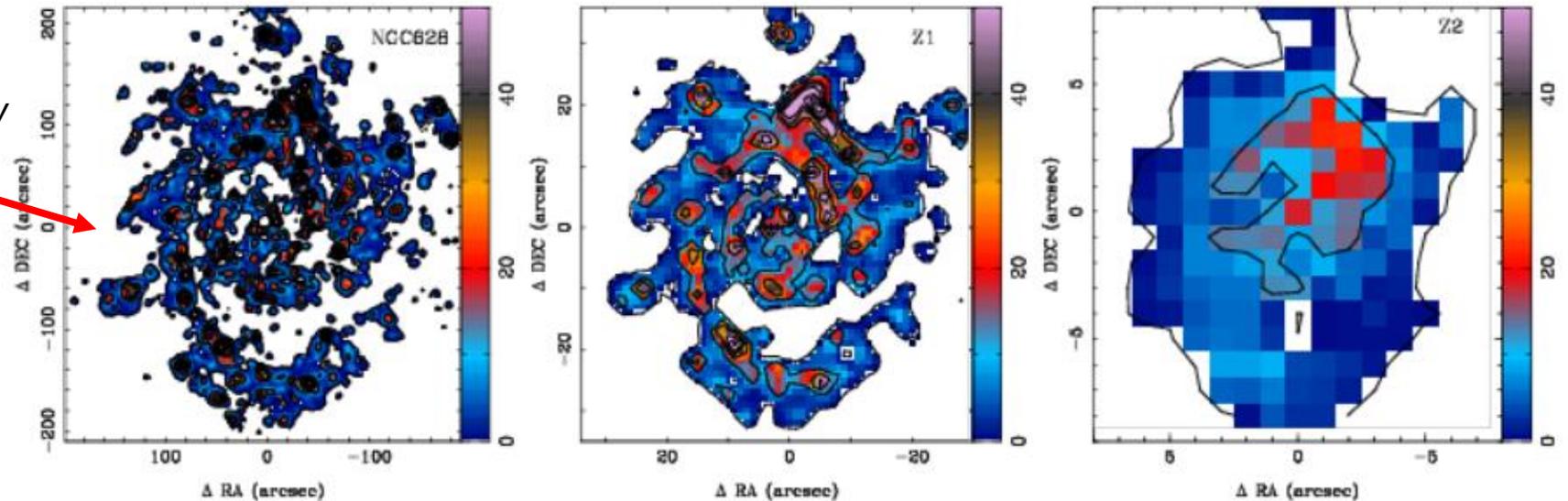
Results. We show that at the CALIFA resolution, we are able to measure and map common observables in a galaxy study: the number and distri-

Efectos en el flujo con el z para NGC628



Flujo en V

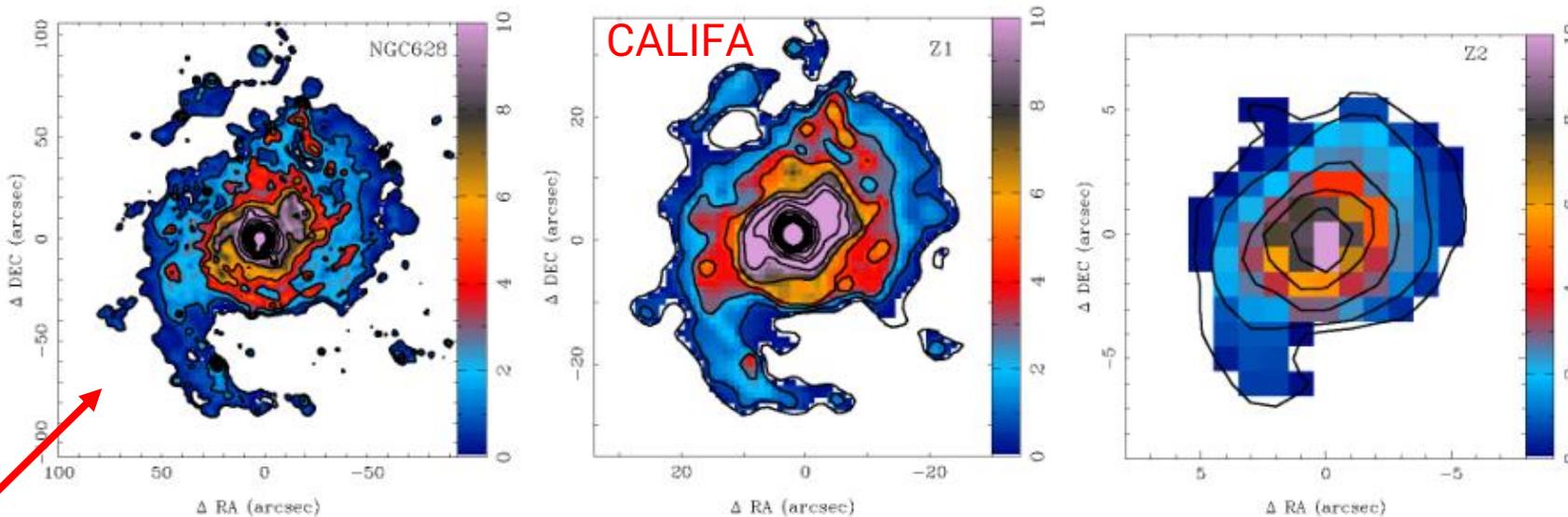
Resolución con PINGS
PPAK IFS Nearby Galaxies Survey



Flujo en $H\alpha$

Mast et al. (2014)

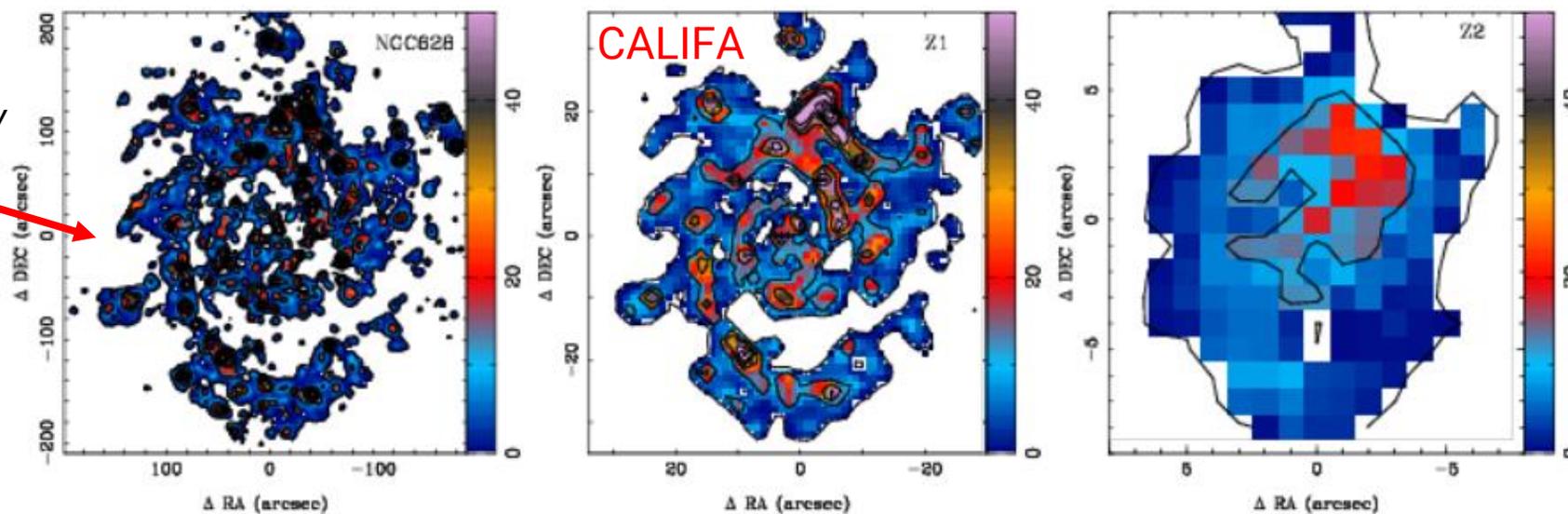
Efectos en el flujo con el z para NGC628



Flujo en V

Redshift
0.0135

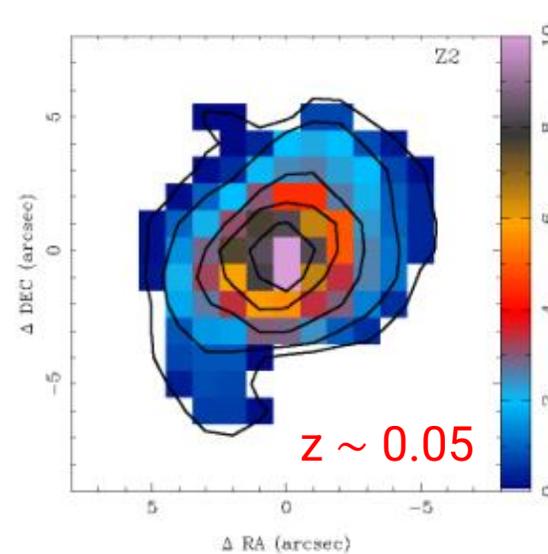
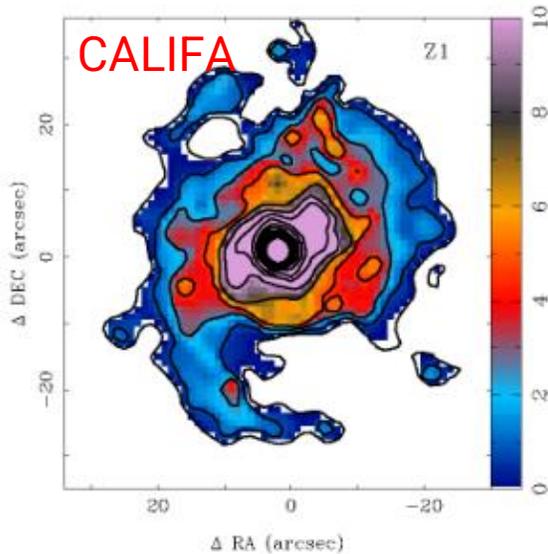
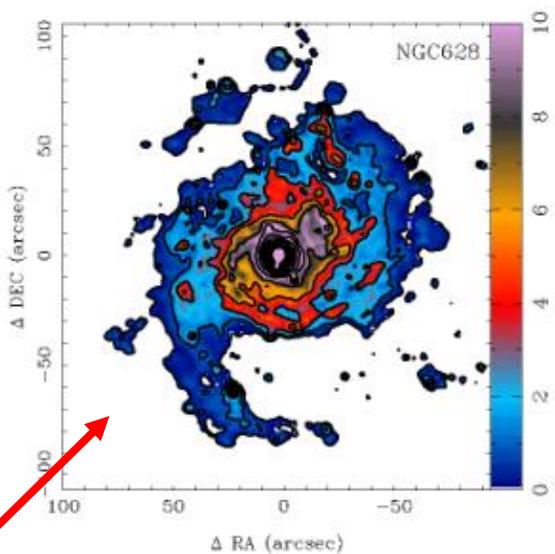
Resolución con PINGS
PPAK IFS Nearby Galaxies Survey



Flujo en $H\alpha$

Mast et al. (2014)

Efectos en el flujo con el z para NGC628



Flujo en V

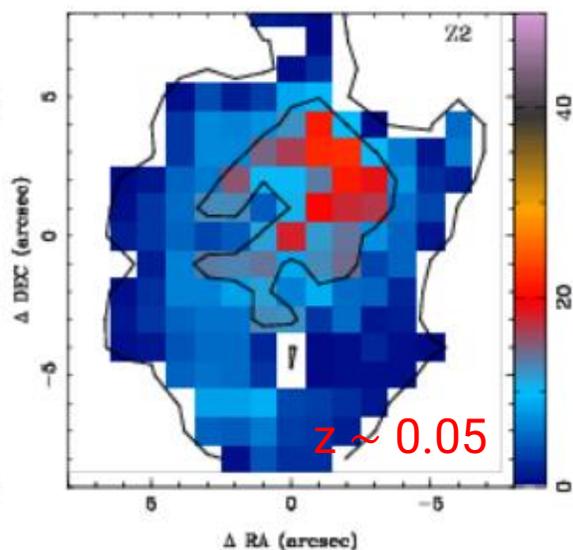
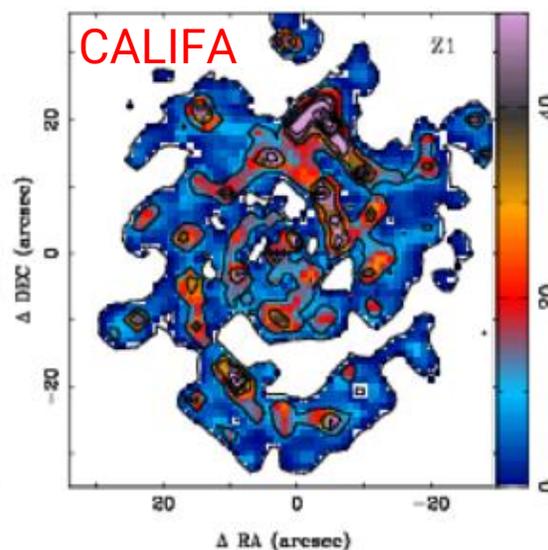
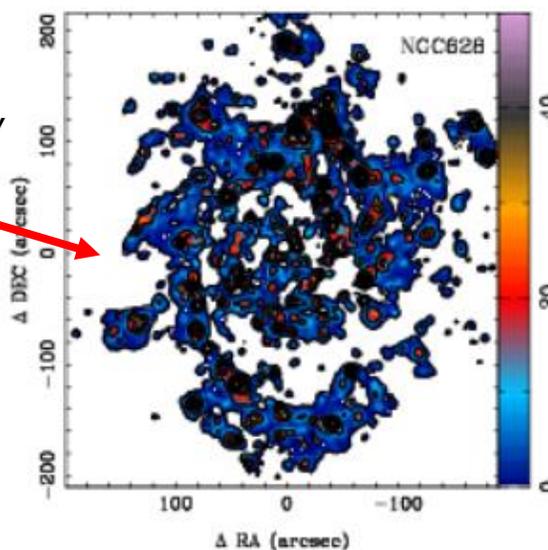
Redshift
0.0135

Resolución con PINGS
PPAK IFS Nearby Galaxies Survey

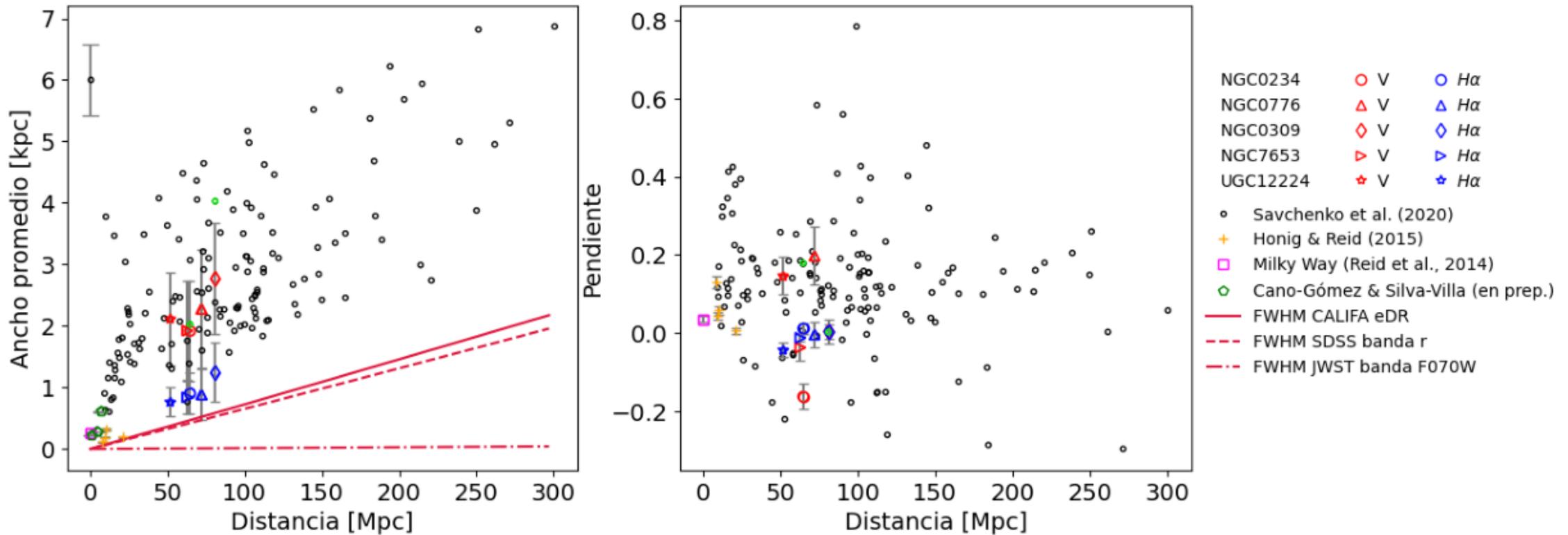


Flujo en $H\alpha$

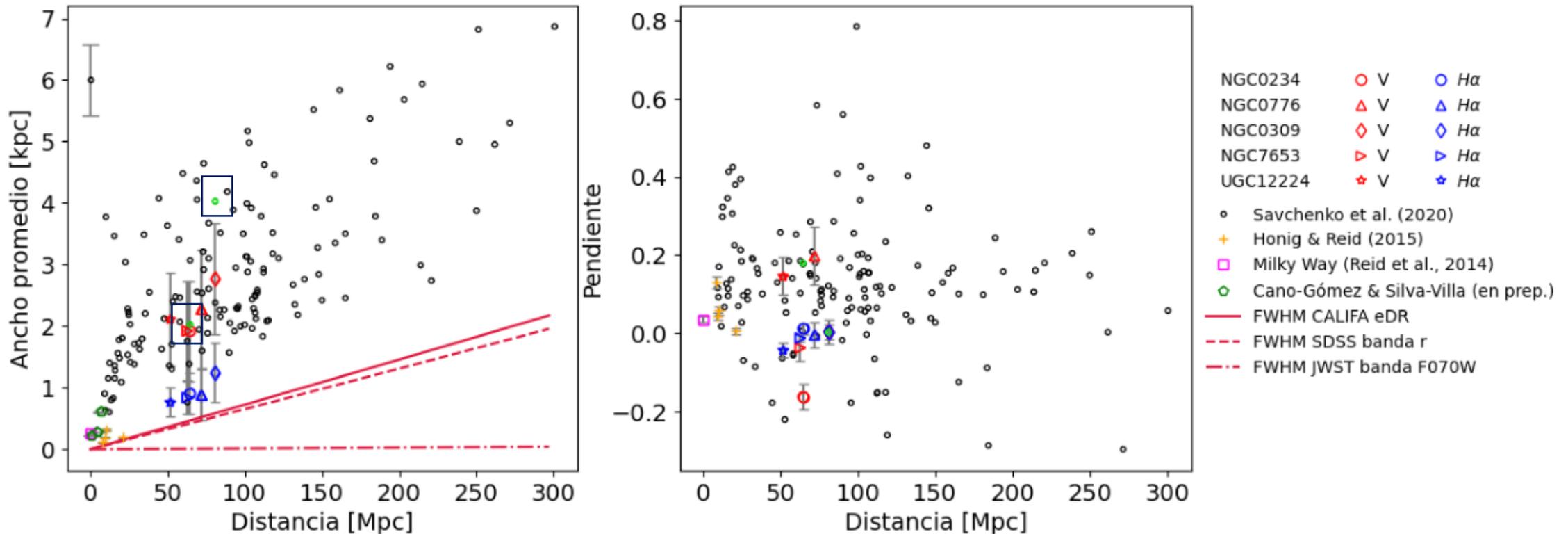
Mast et al. (2014)



Resultados: comparación con la literatura



Resultados: comparación con la literatura





Conclusiones

Conclusiones

- Para la determinación del ancho hemos utilizando dos métodos distintos. El método que utiliza el flujo interbrazo tiende a producir anchos mayores en comparación con el método de 1σ , dado que el primero tiende a estudiar una proporción mayor y más difusa que este último.
- Esto se debe en gran parte a la naturaleza de cada trazador: mientras que H α traza regiones de formación estelar, pseudo-V incluye información de poblaciones estelares de diferentes edades, lo que reduce el contraste entre los brazos y las regiones interbrazo.
- Los resultados obtenidos para las pendientes, especialmente en H α , presentan una tendencia casi nula en la variación del ancho con el radio galactocéntrico. Sin embargo, estudios a mayor resolución, como los que podrían realizarse con el JWST, serían fundamentales para mejorar la precisión de las mediciones.

¡Muchas Gracias!

Referencias

Ferreras, I. (2019), *Fundamentals of Galaxy Dynamics, Formation and Evolution*, UCL Press.

Honig, Z. & Reid, M. (2015), 'Characteristics of spiral arms in late-type galaxies', *The Astrophysical Journal* 800(1), 53.

Mast, D., Rosales-Ortega, F. F., Sánchez, S. F., Vílchez, J. M., Iglesias-Paramo, J., Walcher, C., Husemann, B., Márquez, I., Marino, R., Kennicutt, R. et al. (2014), 'The effects of spatial resolution on integral field spectrograph surveys at different redshifts- the califa perspective', *Astronomy & Astrophysics* 561, A129

Reid, M., Menten, K., Brunthaler, A., Zheng, X., Dame, T., Xu, Y., Li, J., Sakai, N., Wu, Y., Immer, K. et al. (2019), 'Trigonometric parallaxes of high-mass star-forming regions: our view of the milky way', *The Astrophysical Journal* 885(2), 131

Savchenko, S., Marchuk, A., Mosenkov, A. & Grishunin, K. (2020), 'A multiwavelength study of spiral structure in galaxies. i. general characteristics in the optical', *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 493(1), 390–409

Ubicación



NGC234: Octubre 3. Julio - diciembre
NGC309: Octubre 6. Julio - diciembre
NGC776: Octubre 22. Julio - diciembre

NGC7653: Septiembre 13. Junio - diciembre
UGC12224: Septiembre 5. Junio - diciembre



Fechas de observación

Desde el observatorio de Calar Alto

NGC234: Julio - Enero

NGC309: Agosto - Enero

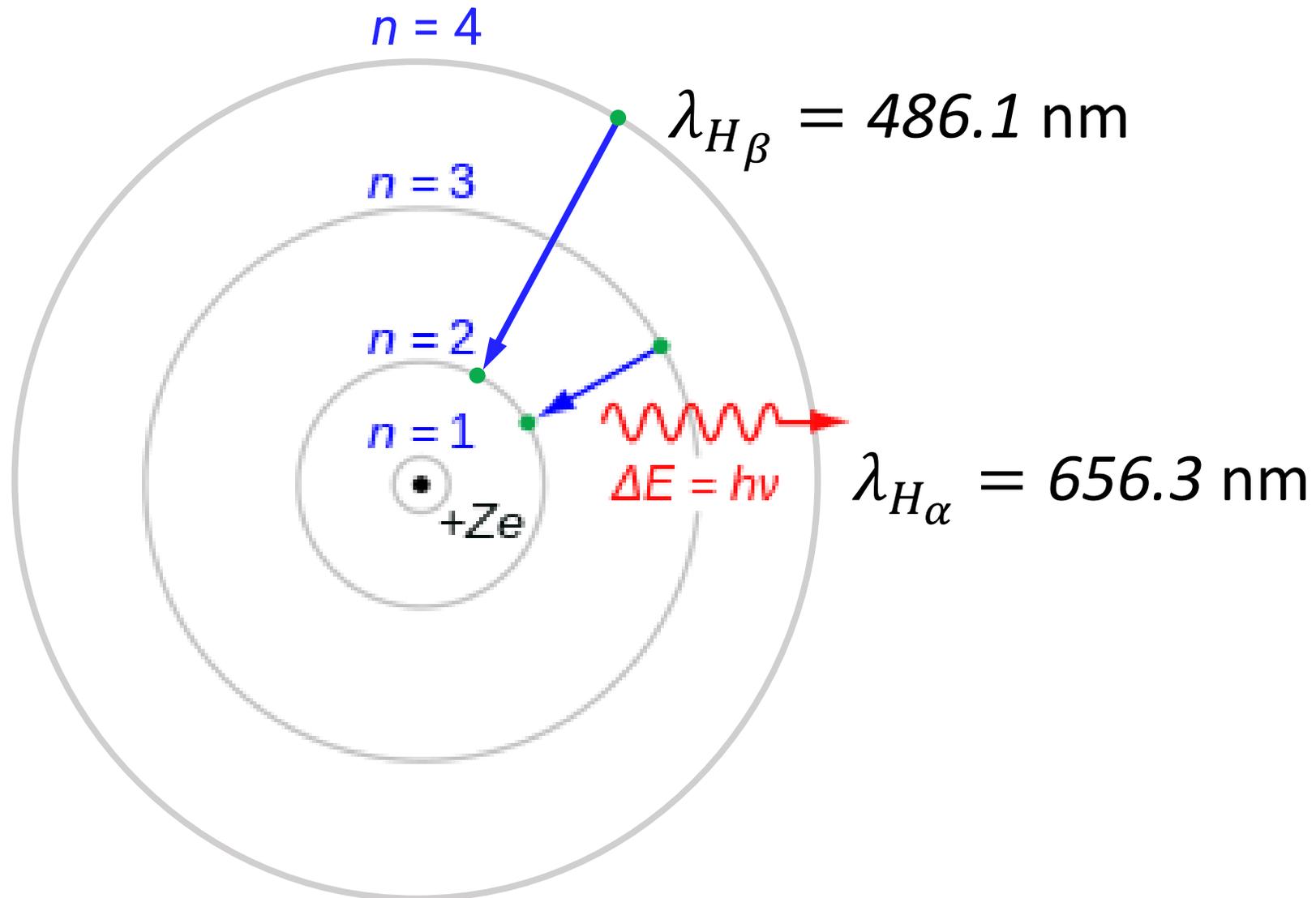
NGC776: Agosto - Febrero

NGC7653: Julio - Enero

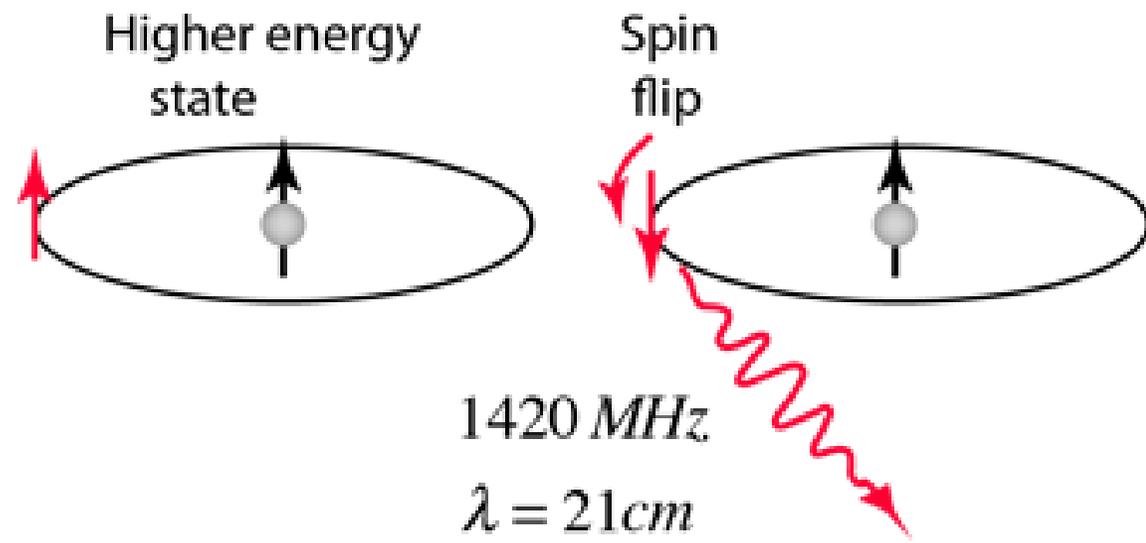
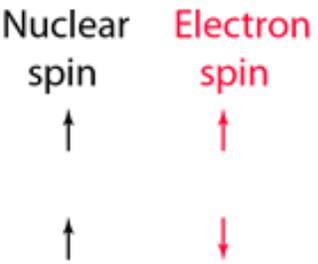
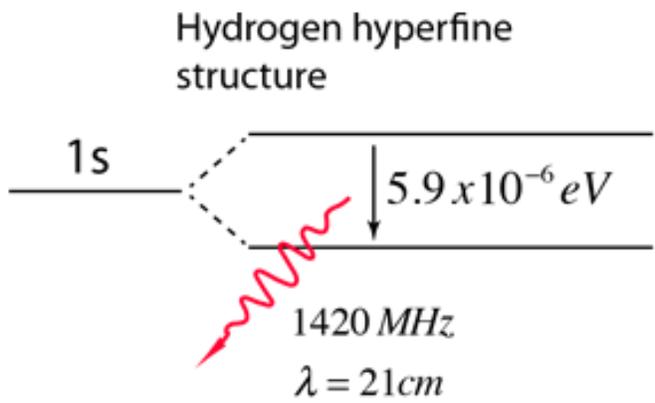
UGC12224: Julio - Diciembre



Emisión en H_α y H_β

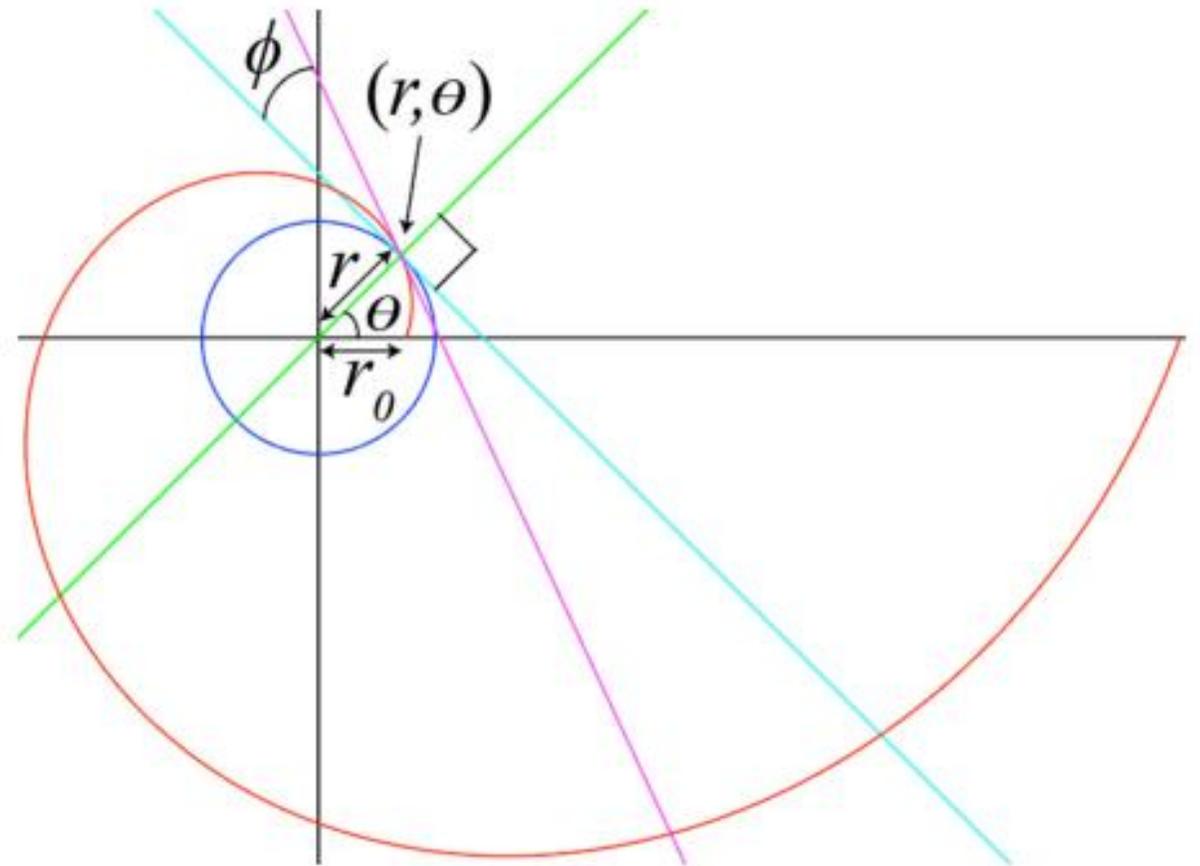


Emisión en 21 cm



Introducción: Parámetros para describir los brazos

- Número de brazos
- Ángulo de hélice o pitch angle
- Ancho de los brazos



Galaxias para posible estudio

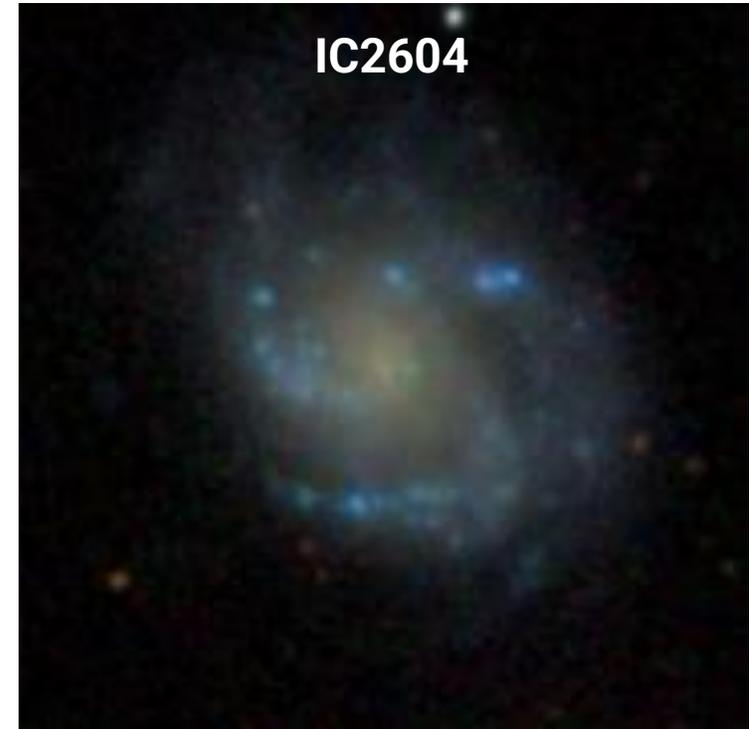


Morfología: Sc
Distancia: 58.88 Mpc

$$i_{CALIFA} = 24.94^\circ$$

$$i_{HYPERLEDA} = 38.90^\circ$$

$$\Delta i = -13.96^\circ$$



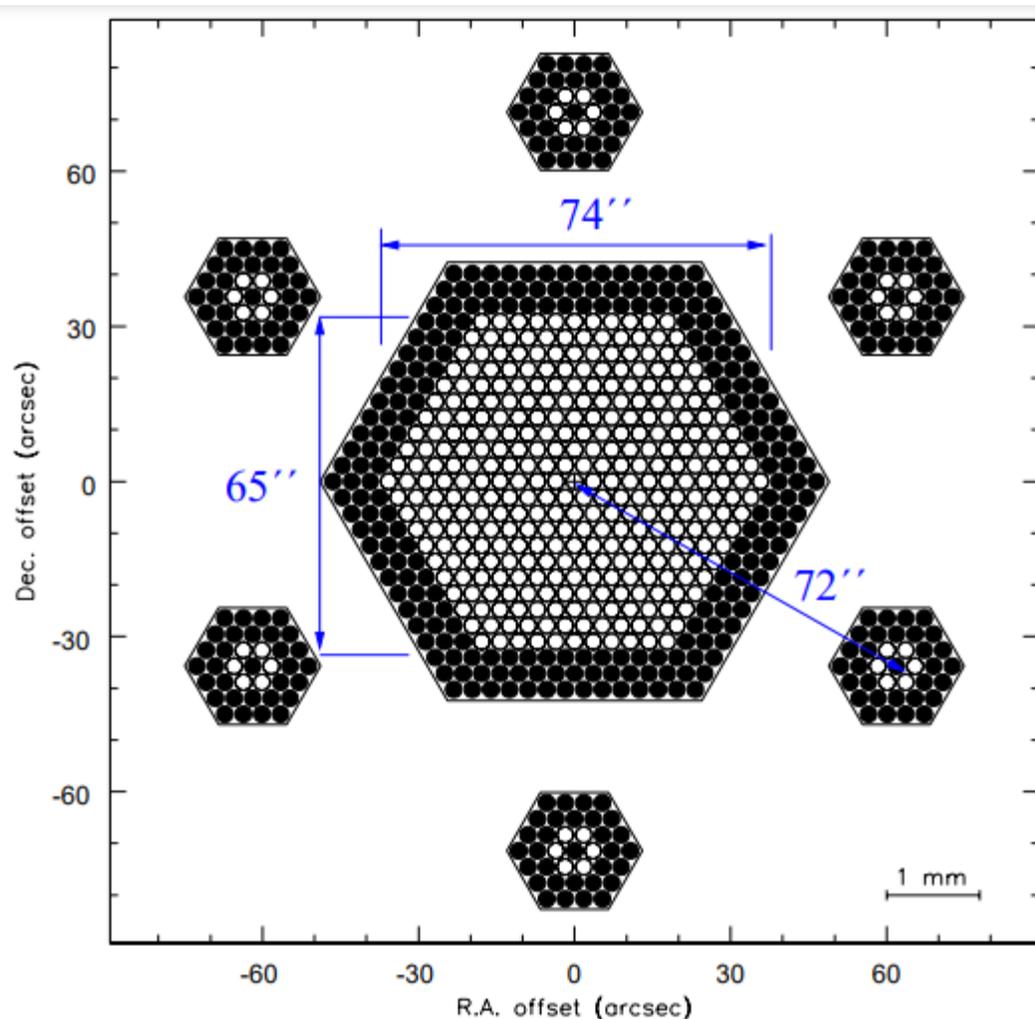
Morfología: SBm
Distancia: 25.94 Mpc

$$i_{CALIFA} = 37.16^\circ$$

$$i_{HYPERLEDA} = 32.60^\circ$$

$$\Delta i = 4.56^\circ$$

Datos: PPak IFU



PPak fiber bundle			
# fibers	○ active	● buffer	total
object	331	216	547
sky	36	186	222
calibration	15	22	37
total	382	424	806

Kelz y cols. (2004)

V500

3750 a 7000 Å
Resolución: 850
Tiempo exp: 900s

V1200

3700 y 4700 Å
Resolución: 1650
Tiempo exp: 1800s

Datos: Información de las galaxias

Cuadro 2.1: *Propiedades de las cinco galaxias estudiadas. La primera columna muestra el nombre de la galaxia; la segunda, su morfología; la tercera, el módulo de la distancia; la cuarta, el redshift; la quinta, la inclinación determinada por CALIFA; la sexta, la inclinación reportada en HYPERLEDA; la séptima, la diferencia de inclinación entre CALIFA e HYPERLEDA; y la octava columna muestra el factor de escala. El primer valor del factor de escala corresponde al utilizado en este trabajo, calculado utilizando la ecuación 2.1, mientras que el segundo valor, entre paréntesis, se calculó asumiendo un Universo plano con $H_0 = 69.6$ (Wright 2006) para efectos de comparación.*

Name	Morphology ^b	Distance modulus ^b	z^a	i_{CALIFA}^a	$i_{HYPERLEDA}^b$	Δi_{C-H}	Scale [kpc/"]
NGC0234	SABc	34.05 ± 0.24	0.01462	34.27	40.0	-5.73	0.313 (0.300)
NGC0309	SABc	34.54 ± 0.20	0.01861	22.49	29.8	-7.31	0.392 (0.380)
NGC0776	SABa	34.28 ± 0.22	0.0160	32.08	18.3	13.78	0.348 (0.328)
NGC7653	Sb	33.99 ± 0.25	0.01373	34.92	31.0	3.92	0.304 (0.282)
UGC12224	Sc	33.56 ± 0.31	0.01161	37.28	29.5	7.78	0.250 (0.239)

^a CALIFA, ^b Hyperleda galactic database.

Metodología: trazadores estándar de la literatura

- $H\alpha$

Fotoionización debido a la formación de estrellas, estrellas tipo O y B, AGN (**usado ampliamente en la literatura**)
- La extinción

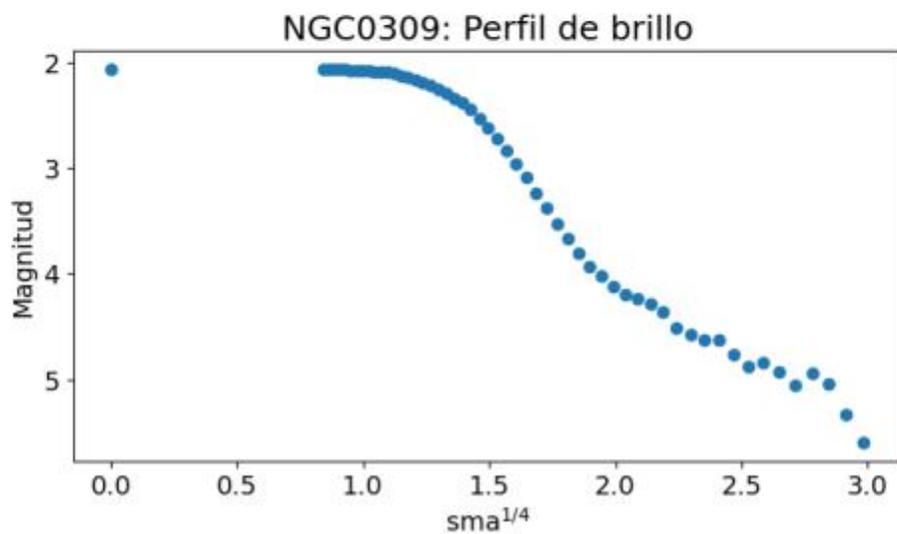
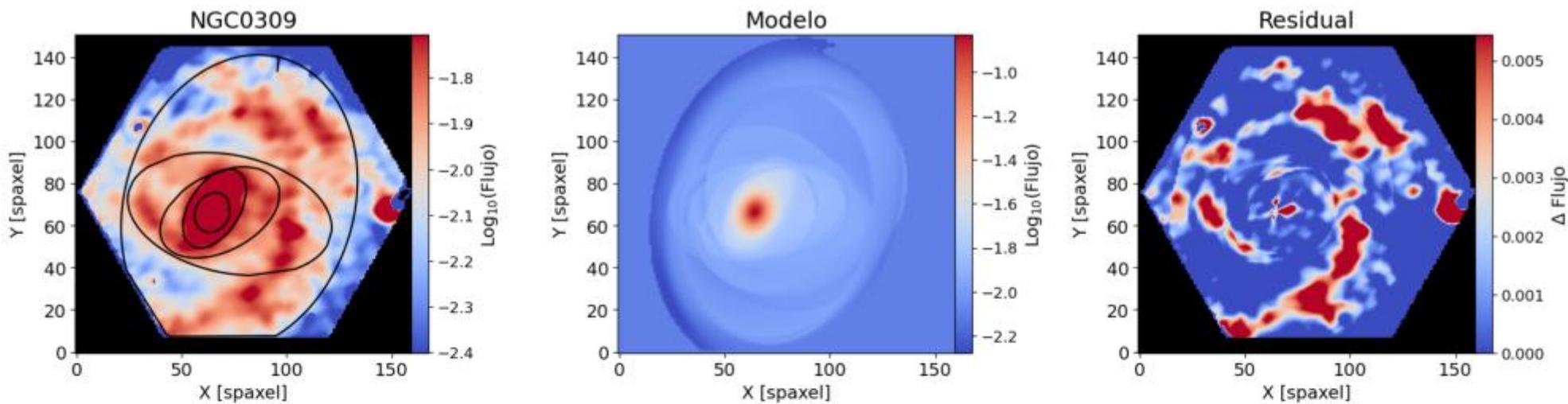
Decremento de Balmer $H\alpha/H\beta$ (e.g. Sakhibov y cols., 2018 **usando CALIFA**)
- Estrellas viejas

Flujo en la región roja del espectro (e.g. Davis & Hayes, 2014)
- Estrellas jóvenes

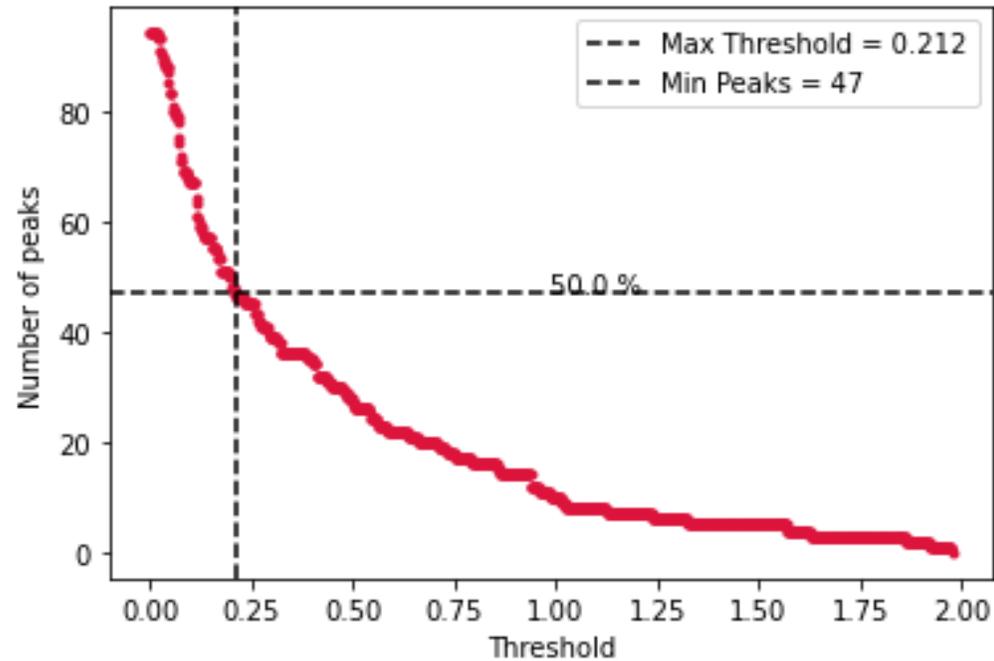
Flujo en la región azul del espectro (e.g. Silva-Villa y Cano-Gómez, 2022; Poggio y cols., 2021)



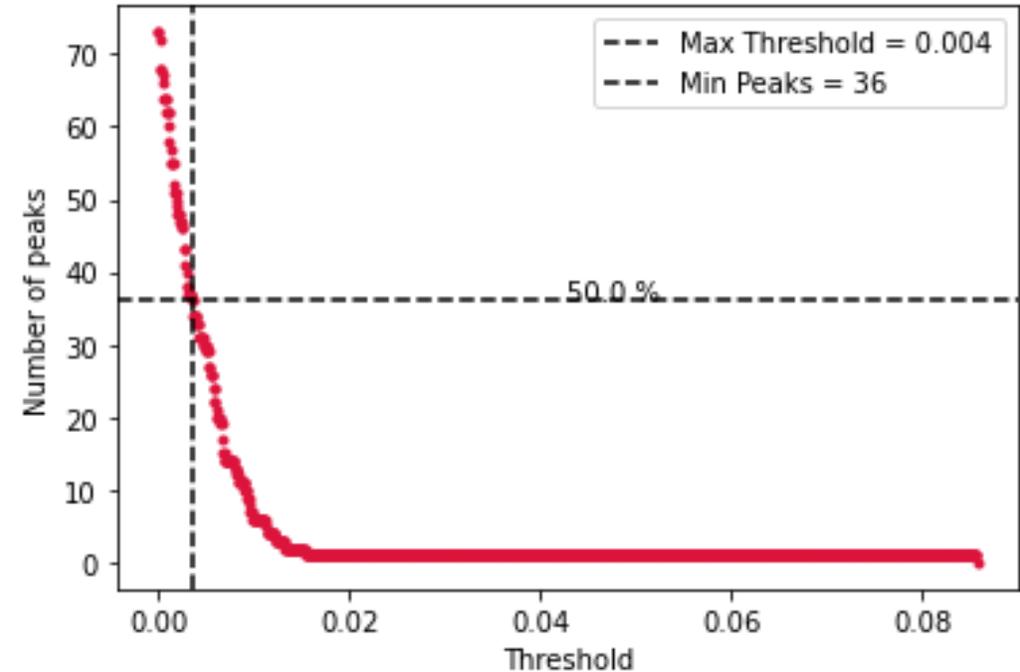
Metodología: Trazado de los brazos



Metdología: Distribución del número de picos



H_{α}



Residuales en Pseudo-V

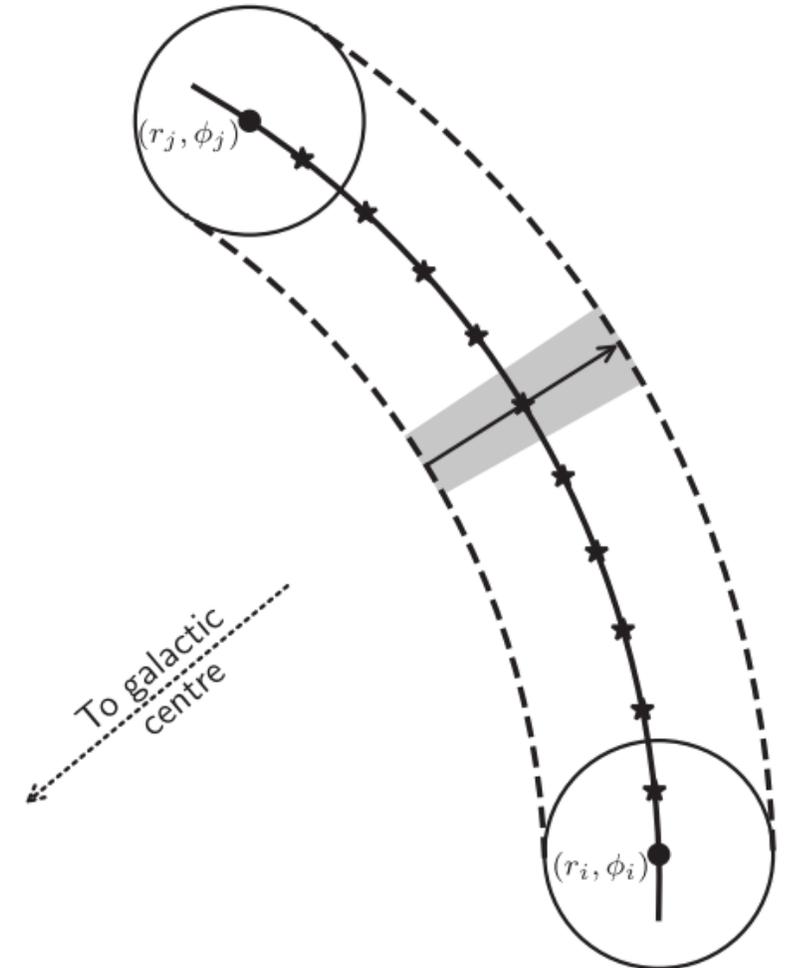


Metodología: Ancho de los brazos

- Savchenko y cols. (2020): las **galaxias de gran diseño** tienen **anchos en promedio mayores** que las galaxias de múltiples brazos y flocculentas.

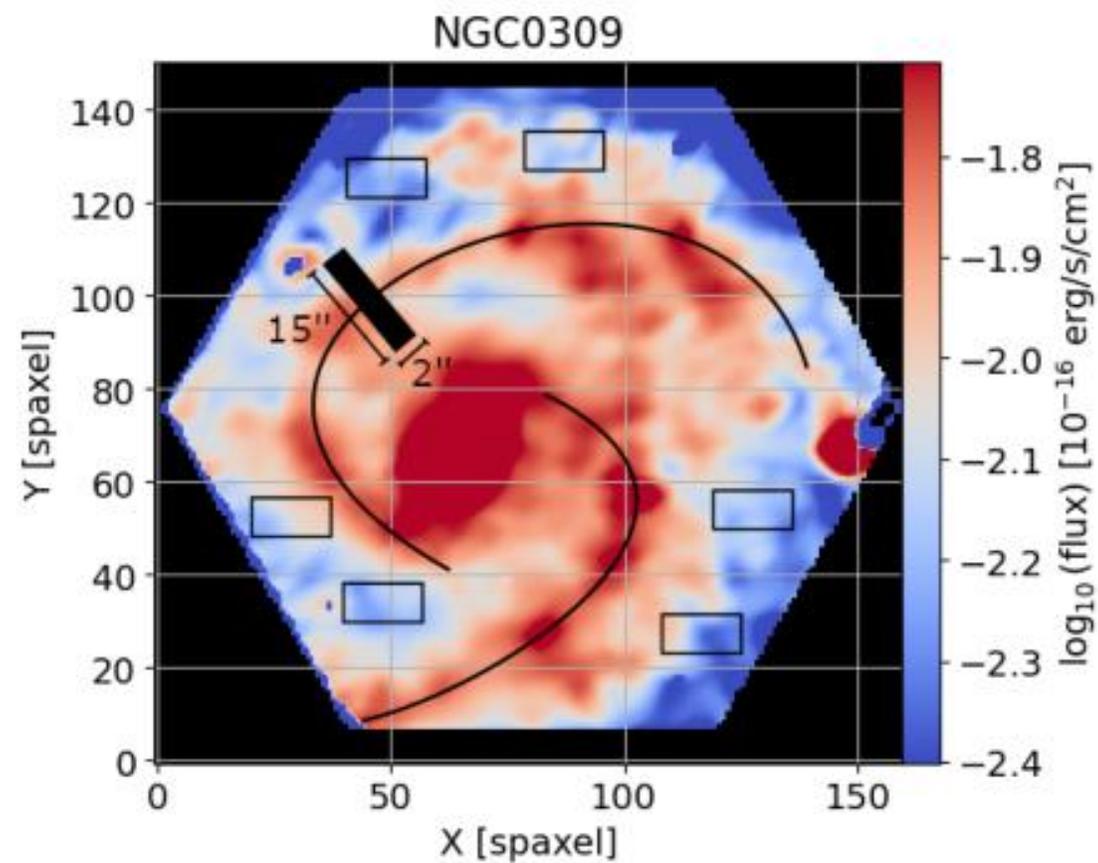
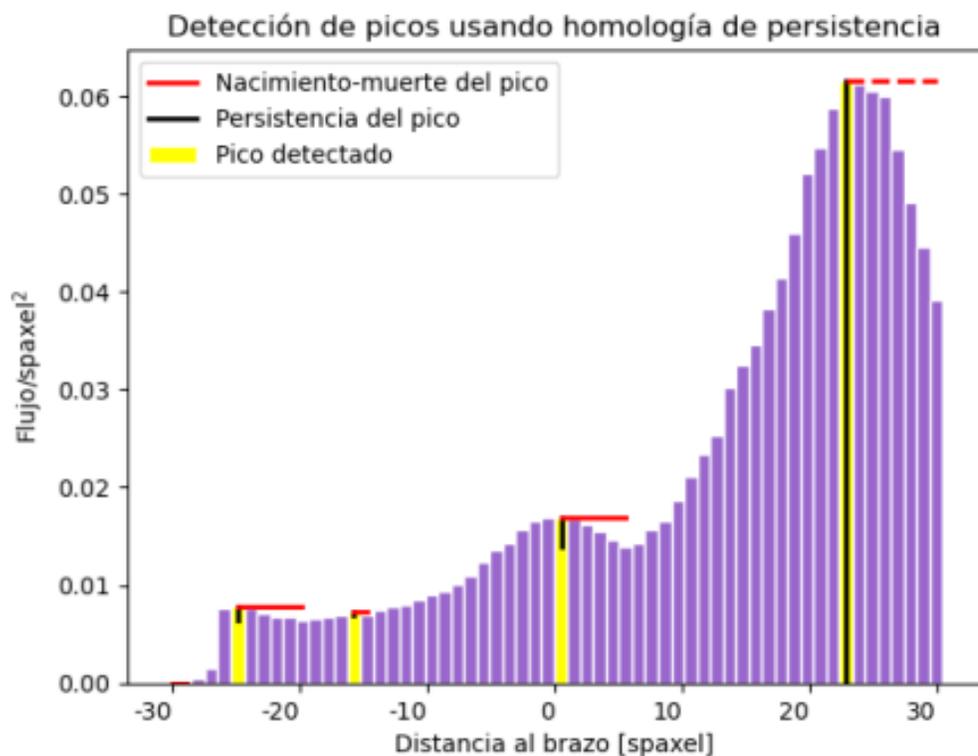
Gran diseño	Múltiples brazos	Flocculentas
3.3 ± 1.2 kpc	2.5 ± 0.9 kpc	2.1 ± 1.4 kpc

- Realizar **cortes perpendiculares a los brazos** (rectángulos) con ancho similar al de galaxias de gran diseño.



Savchenko y cols. (2020)

Metodología: Ancho de los brazos



Metodología: efectos del baneo sobre el ancho

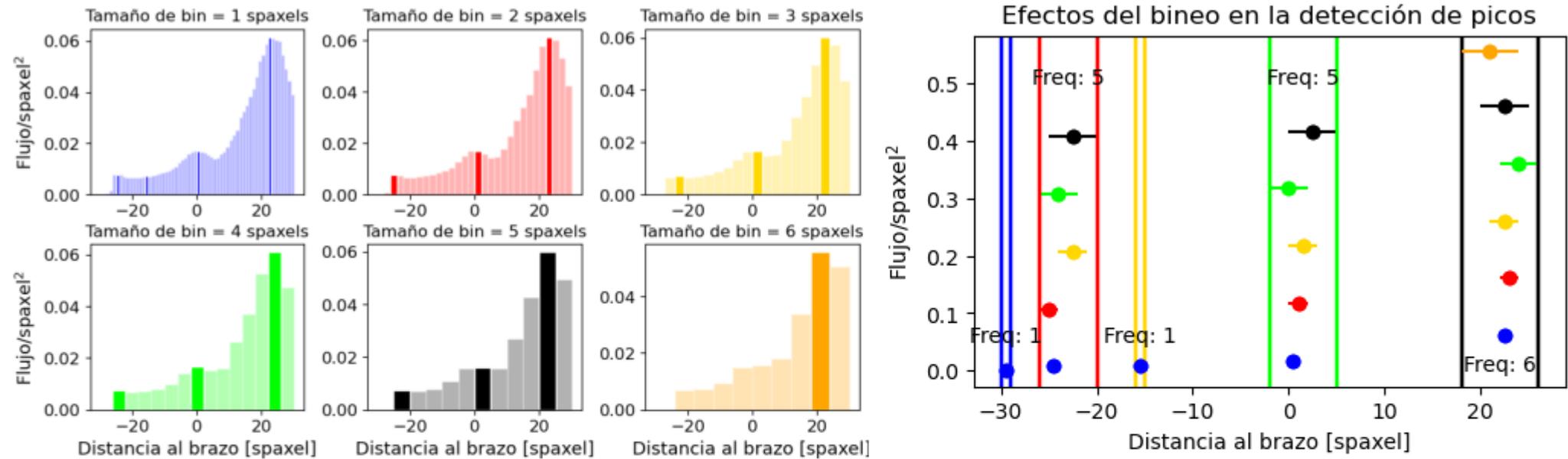
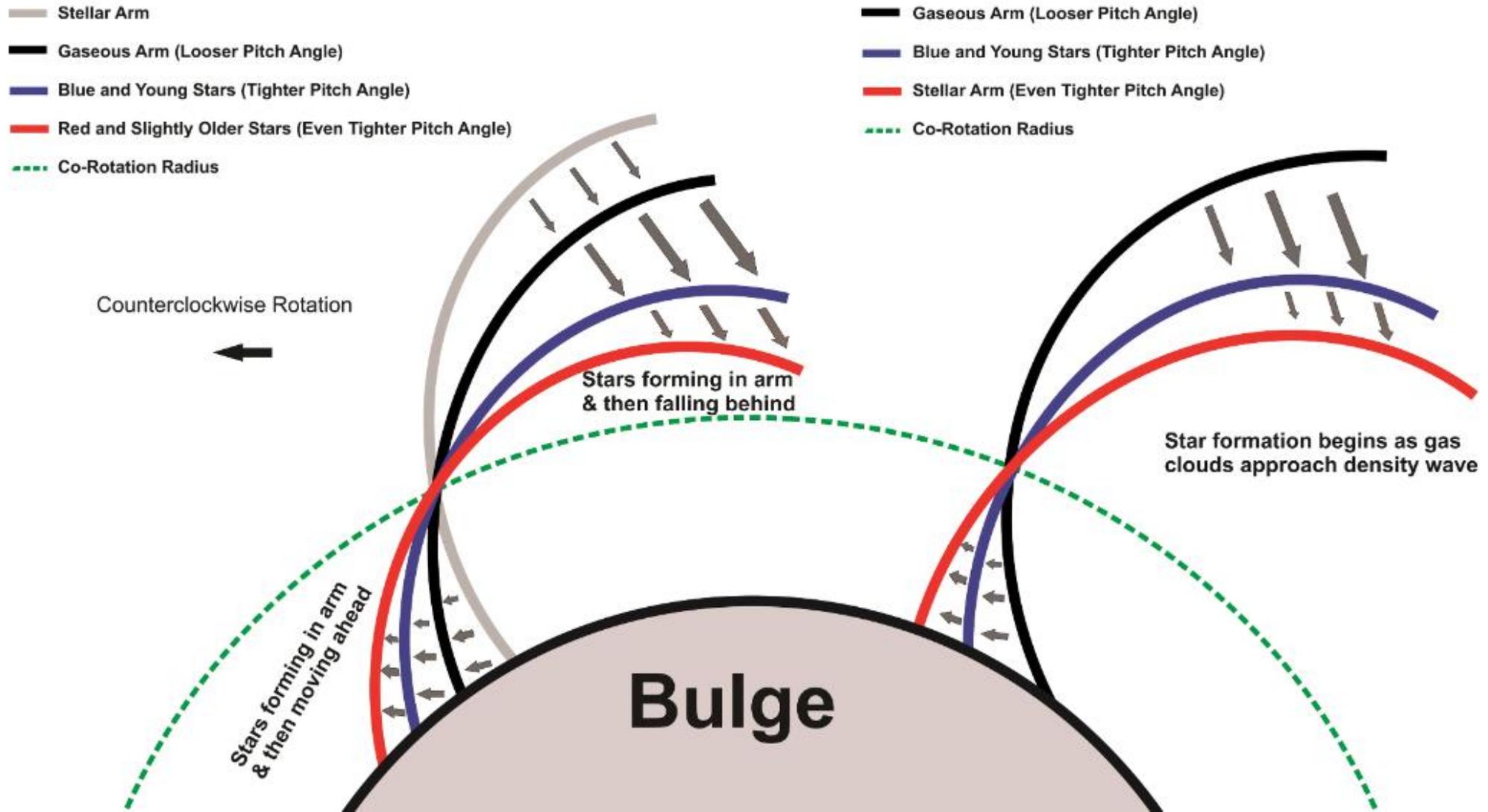
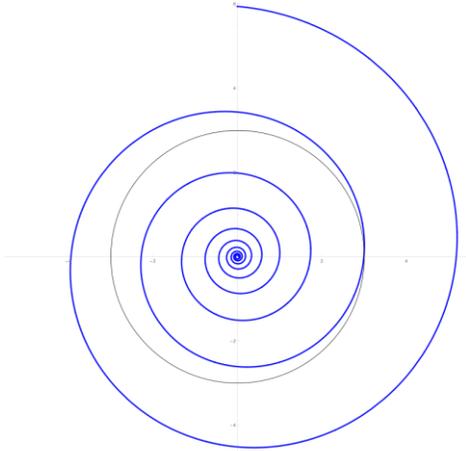


Figura 3.9: Distribución del flujo para diferentes tamaños de bin, desde 1 hasta 6 spaxels (paneles de la izquierda), y su impacto en la detección de picos. Los picos detectados se resaltan en cada distribución y se resumen en el panel de la derecha, donde cada círculo indica un pico detectado, con colores que representan el tamaño del bin. Las barras de error en x muestran el intervalo asociado a cada bin. Las líneas verticales indican intervalos donde se detectan picos persistentes a través de todas las resoluciones.

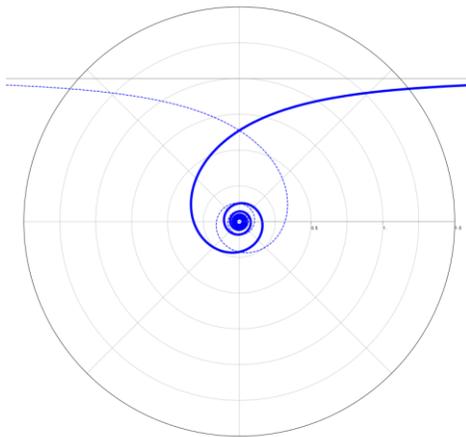
Gradiente de edades



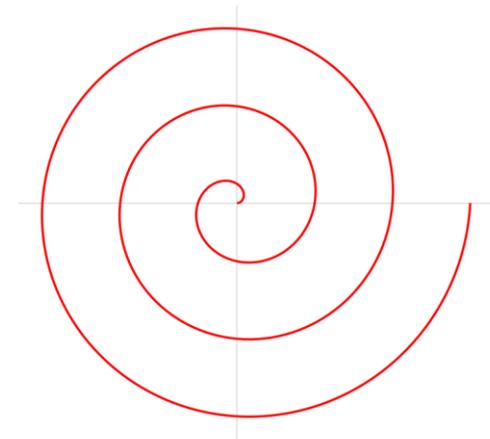
Metodología: Trazado de los brazos



- **Espiral logarítmica:** el pitch angle no varía con la distancia al centro de la galaxia.



- **Espiral de Arquímedes:** pitch angle decrece con la distancia al centro.



- **Espiral hiperbólica:** El pitch angle aumenta con la distancia al centro.

Savchenko, S. S., & Reshetnikov, V. P. (2013)

$$T_{\text{CMB}} = 2.7 \text{ K}$$

$$T_{\text{MW}} = 6.3 \text{ nK}$$

$$R_G = 79 \text{ kpc}$$

$$M_{\text{MW}} = 1.3 \pm 0.3 \times 10^{12} M_{\odot}$$

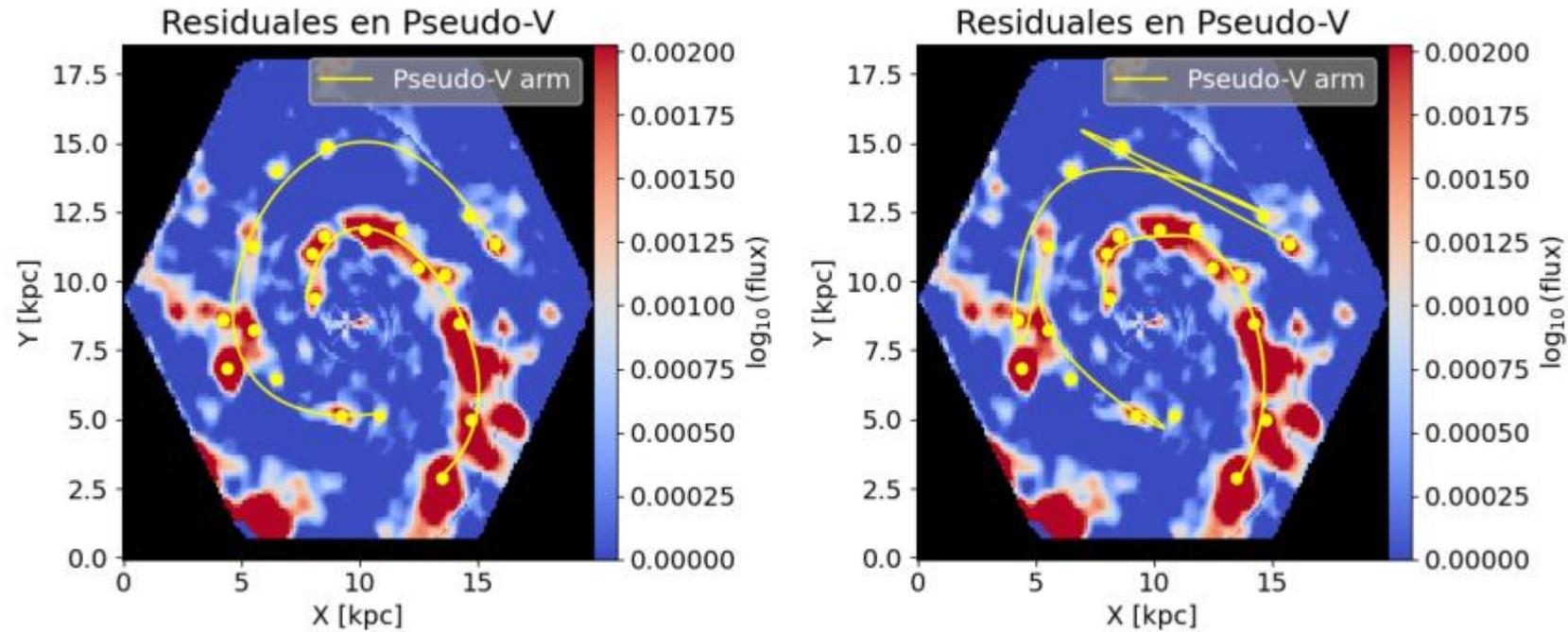
$$T_{\text{BH}} = 15 \text{ fK}$$

$$M_S = 0.94 \times 10^{12} M_{\odot}$$

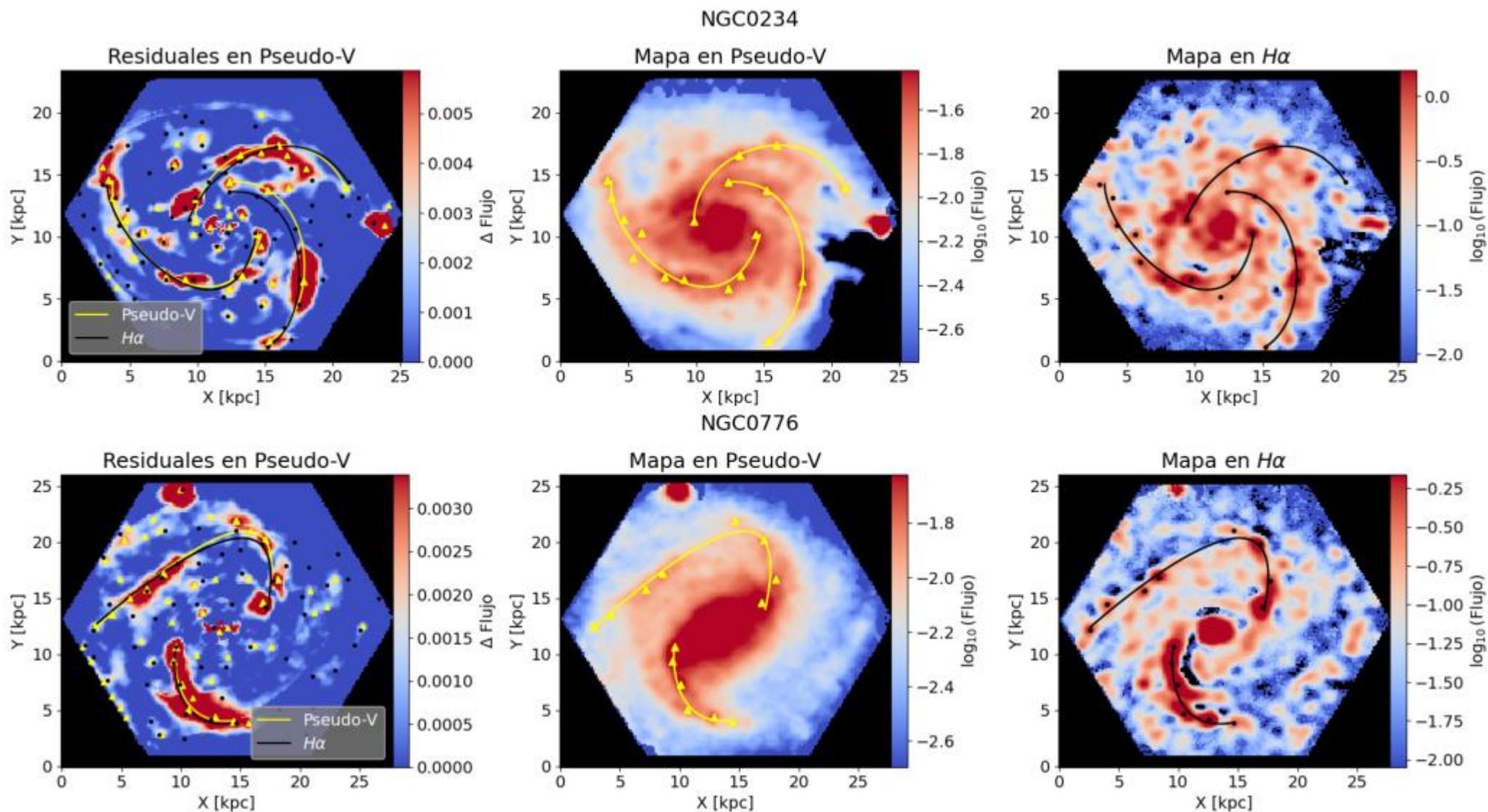
$$M_{\text{BH}} = 4.3 \times 10^6 M_{\odot}$$



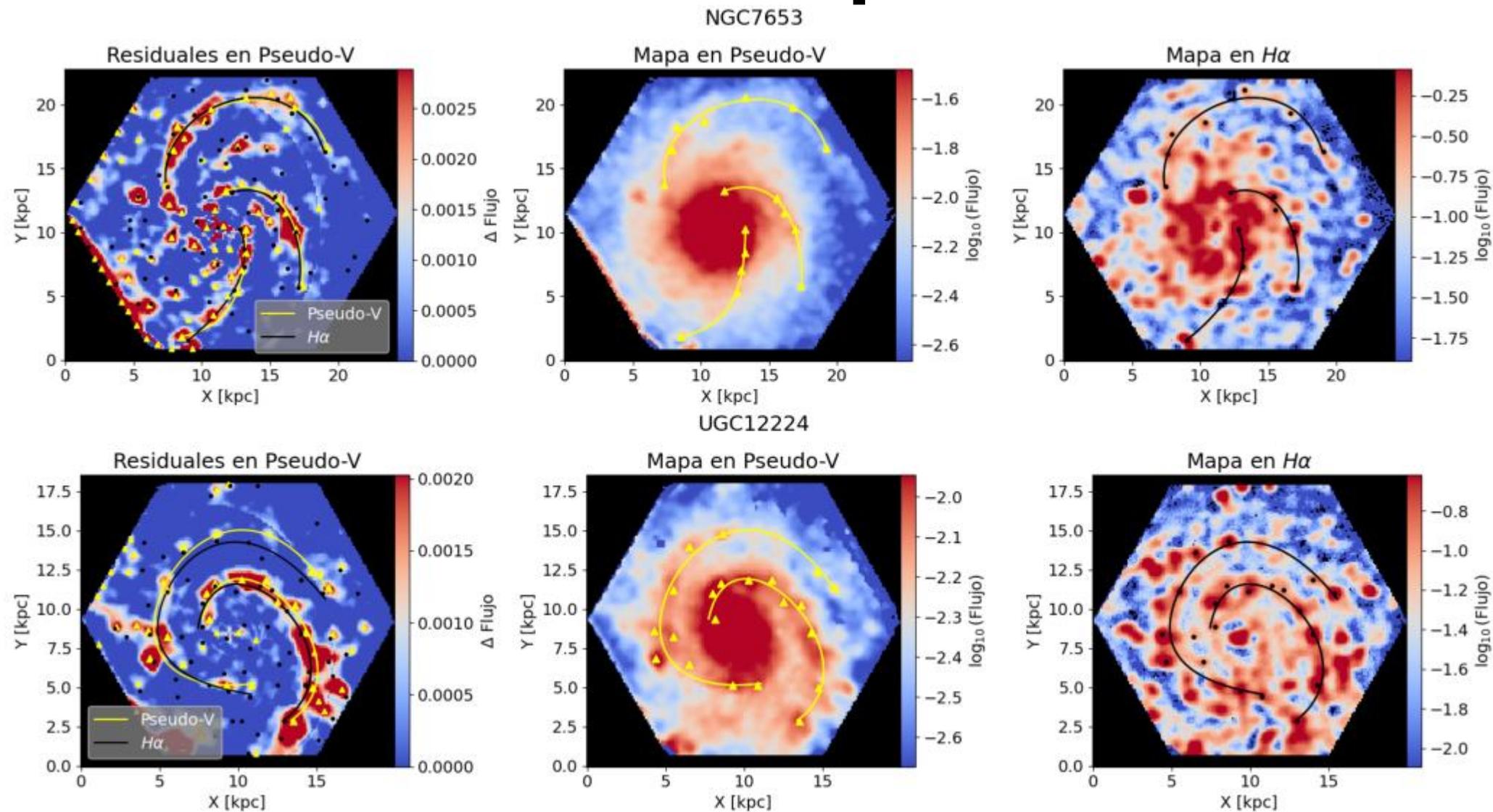
Metodología: problemas con el spline



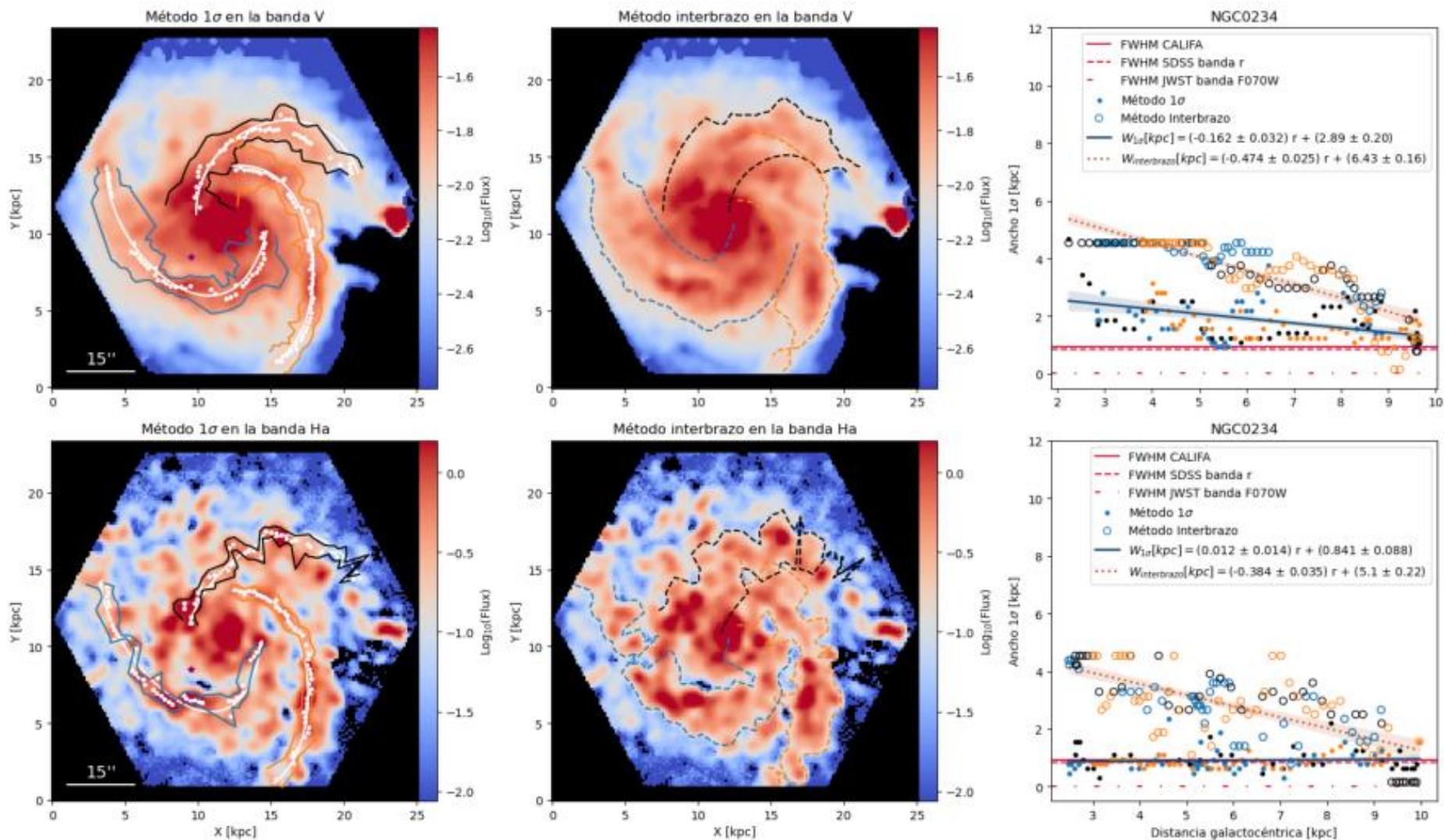
Resultados: brazos espirales



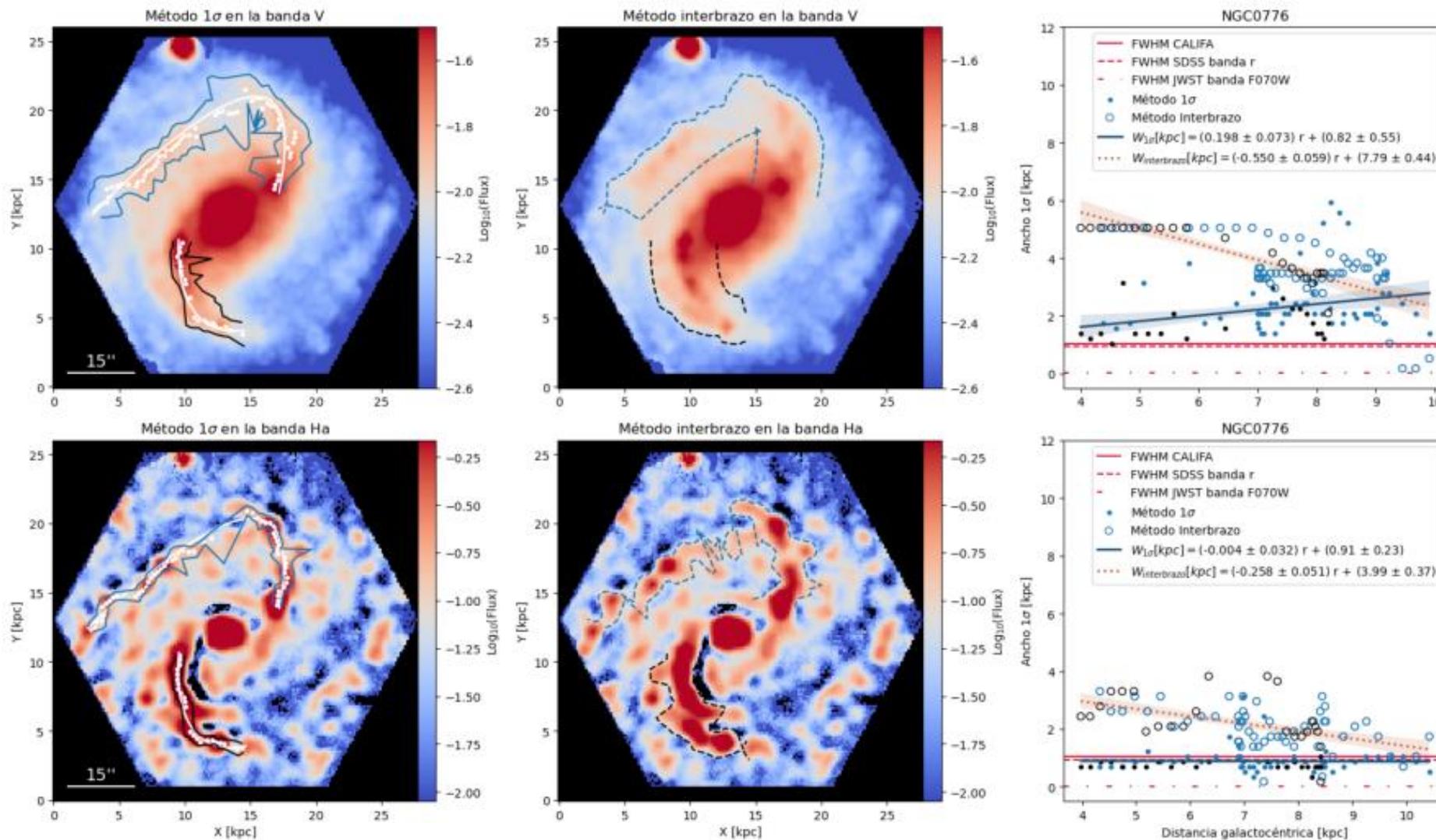
Resultados: brazos espirales



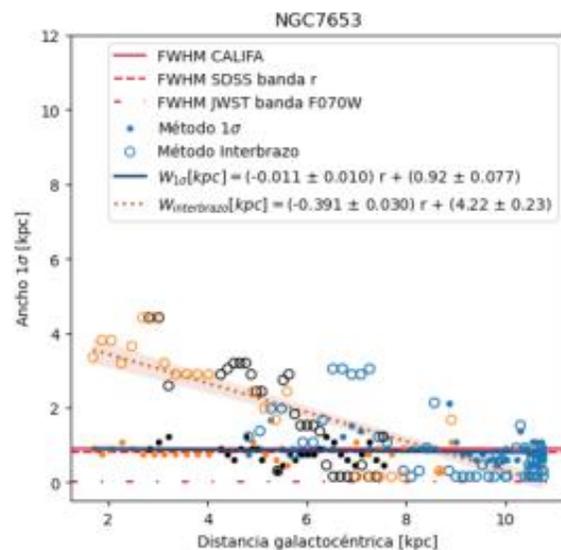
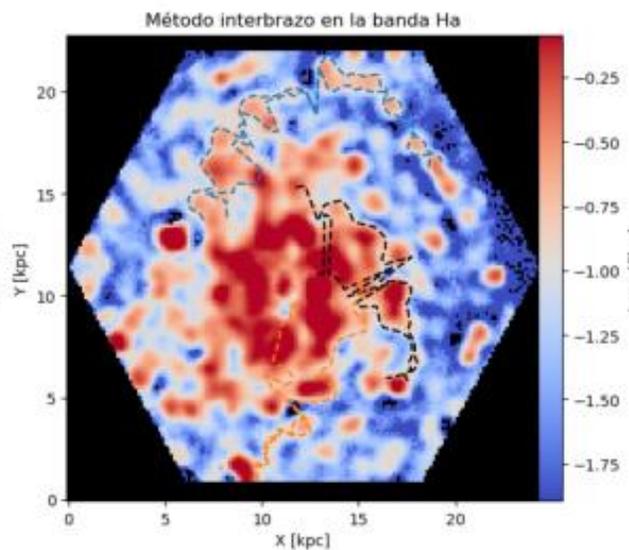
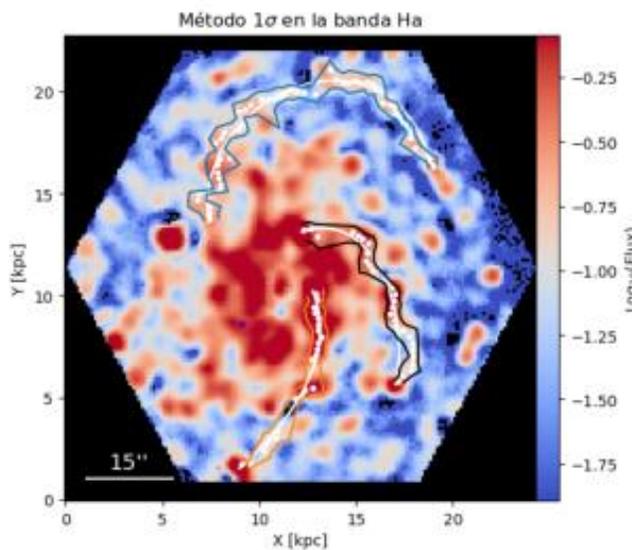
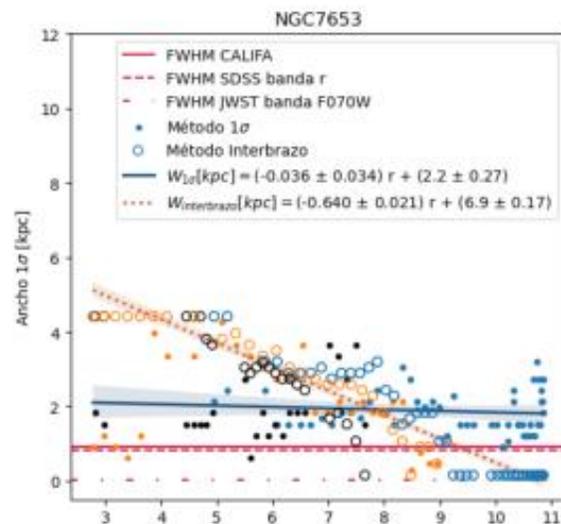
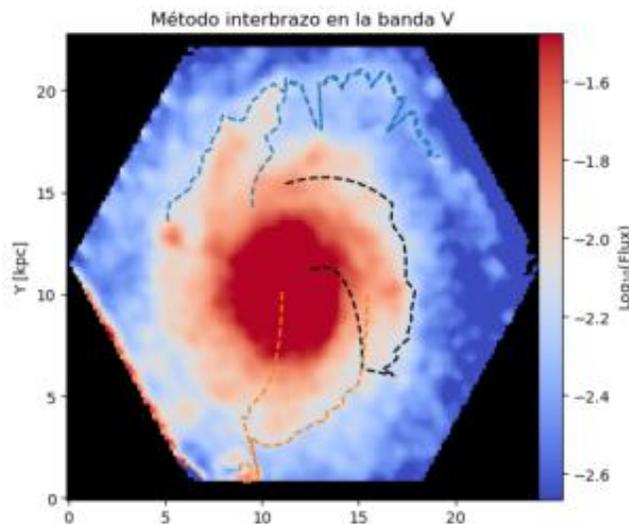
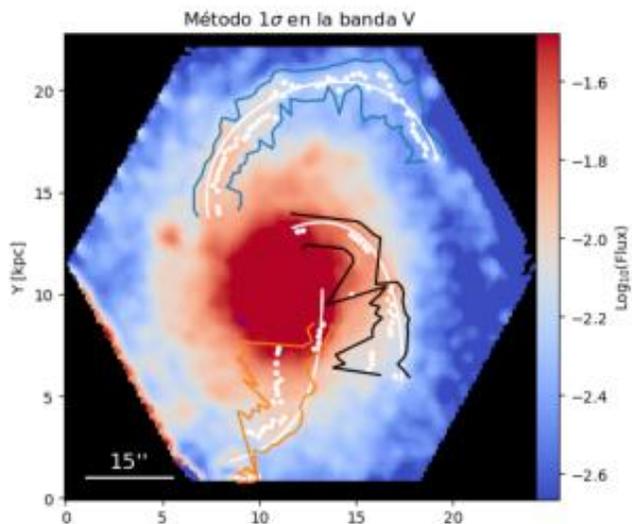
Resultados: Ancho para NGC0234



Resultados: Ancho para NGC0776



Resultados: Ancho para NGC7653



Resultados: Ancho para UGC12224

