

Caracterización morfológica de los brazos espirales en Galaxias de Disco de IllustrisTNG50

Daniel Heraldo Certuche Grueso¹

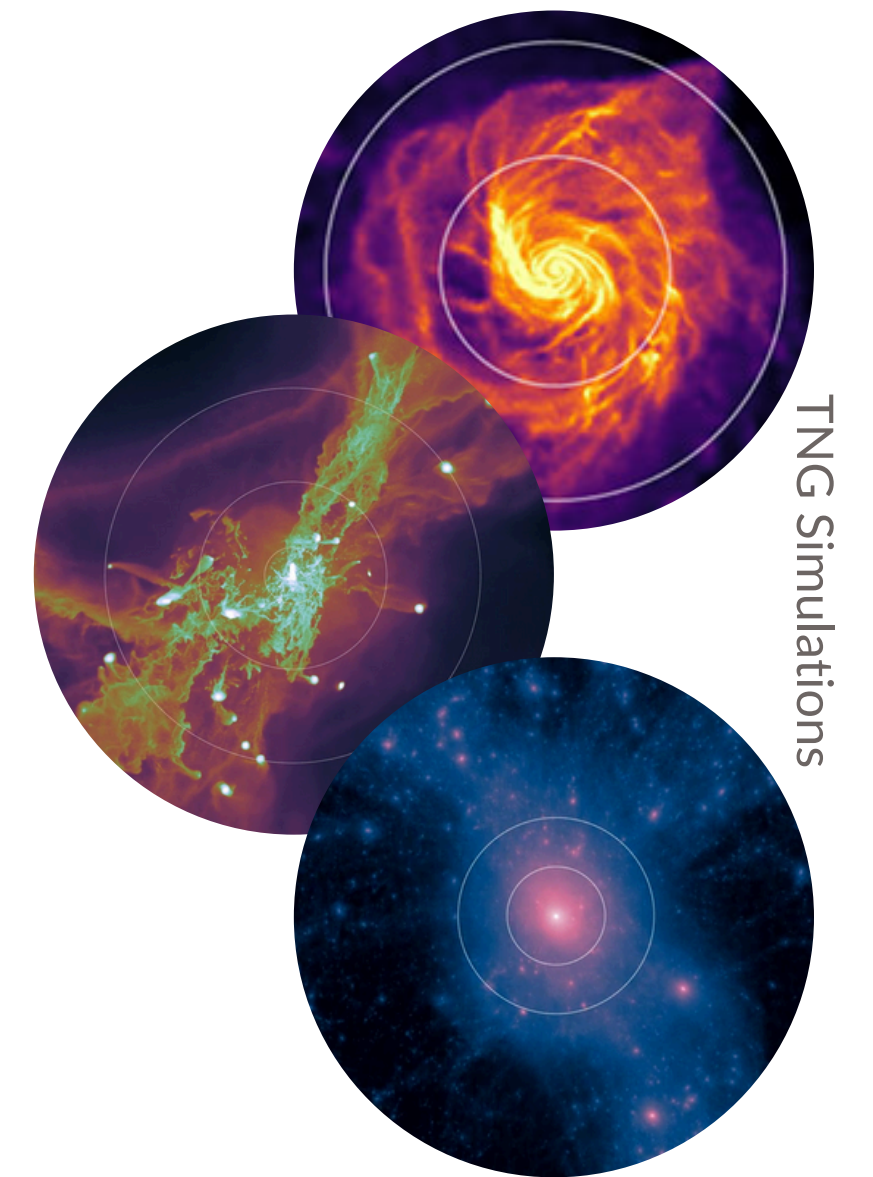
Juan Carlos Muñoz-Cuartas²

Grupo de Física y Astrofísica Computacional (FACom)

Instituto de Física, Universidad de Antioquia

¹daniel.certuche@udea.edu.co

²juan.munozc@udea.edu.co



Contexto

Subestructuras en Galaxias de Disco

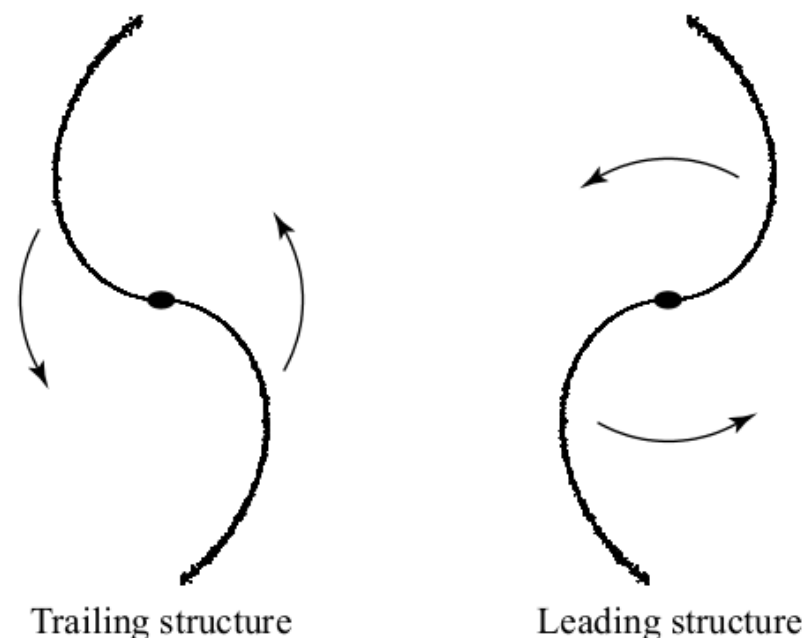
Los brazos espirales vienen en diferentes "estilos" según Elmegreen et. al (1989) y Yu & Ho, (2020):

~10% gran diseño (dos brazos espirales bien definidos)

~60% de brazos múltiples

~30% de espirales flocculantes (sin brazos bien definidos en absoluto)

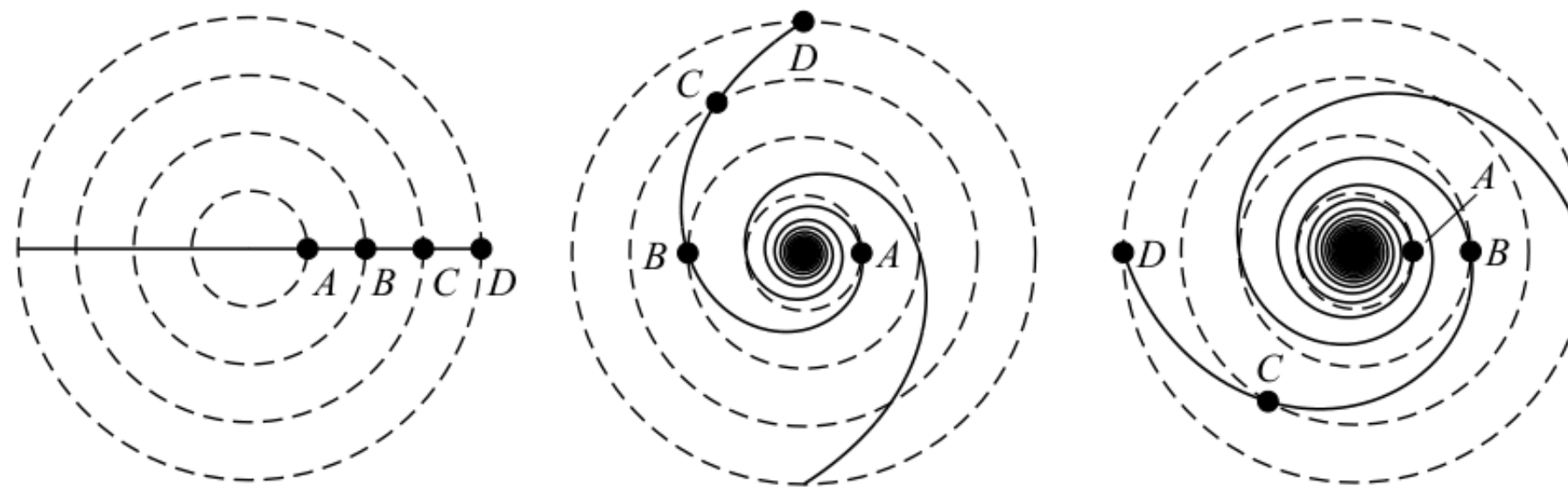
Pero ¿qué son? ¿Cómo se forman? ¿Cómo se mueven?



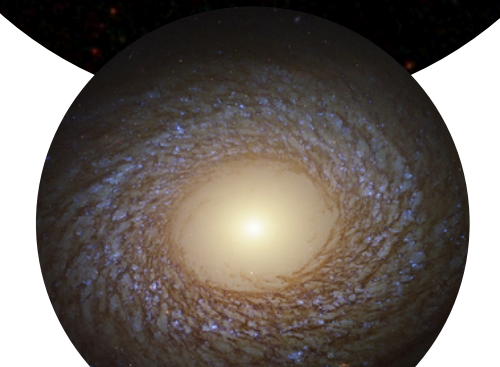
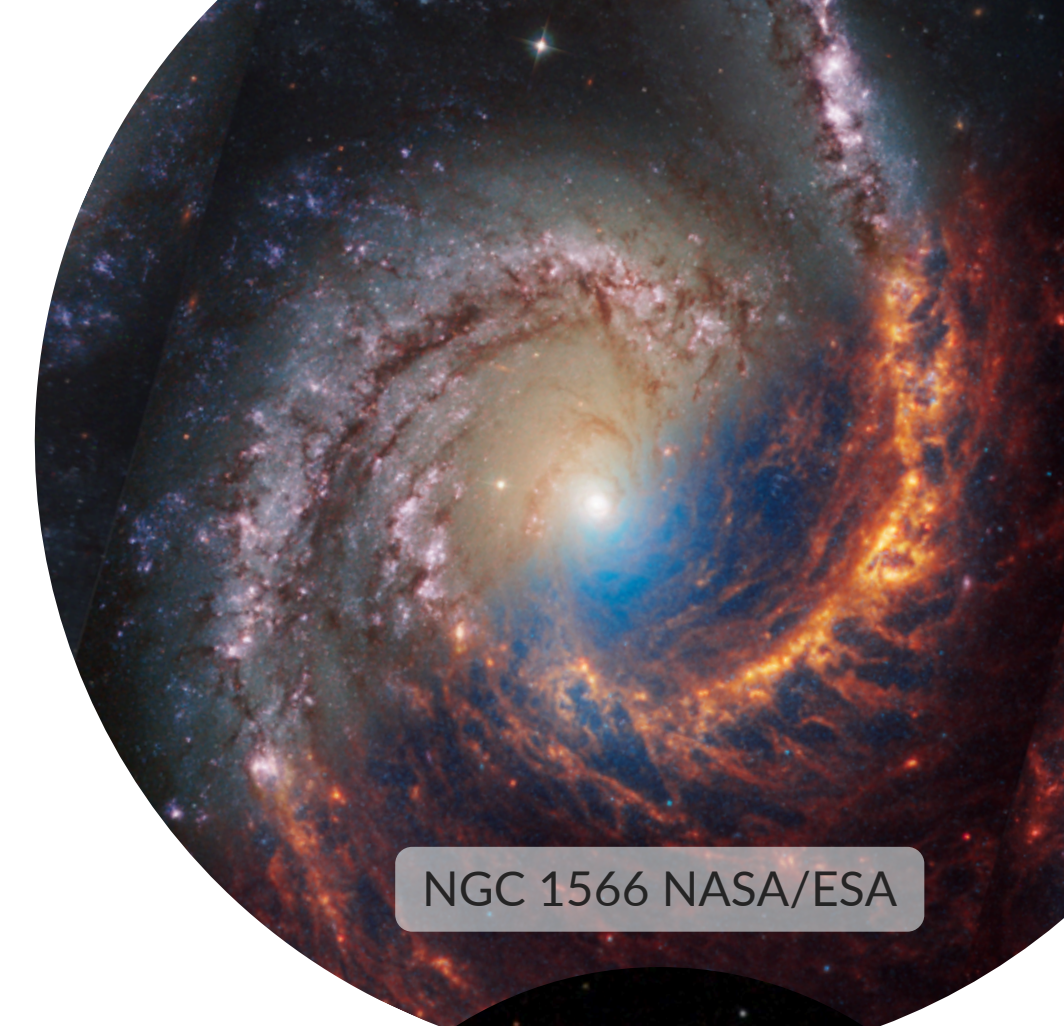
Trailing structure

Leading structure

(Ostlie & Carroll, 2014)

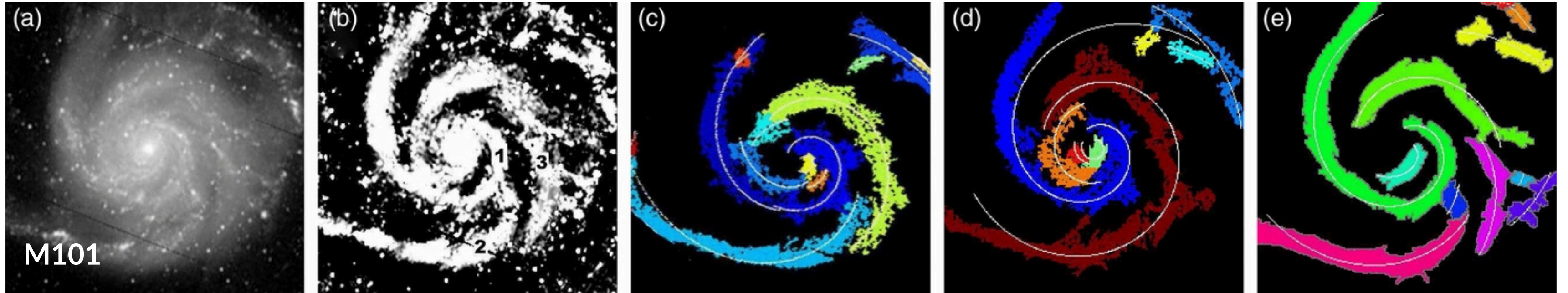


“The winding problem for material arms”



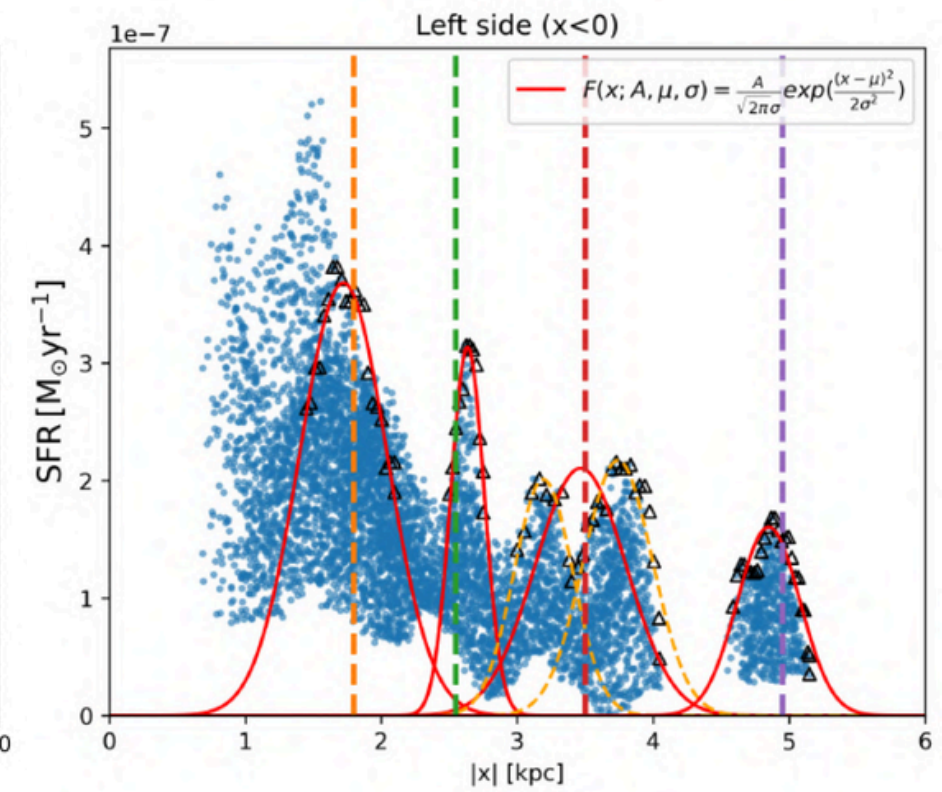
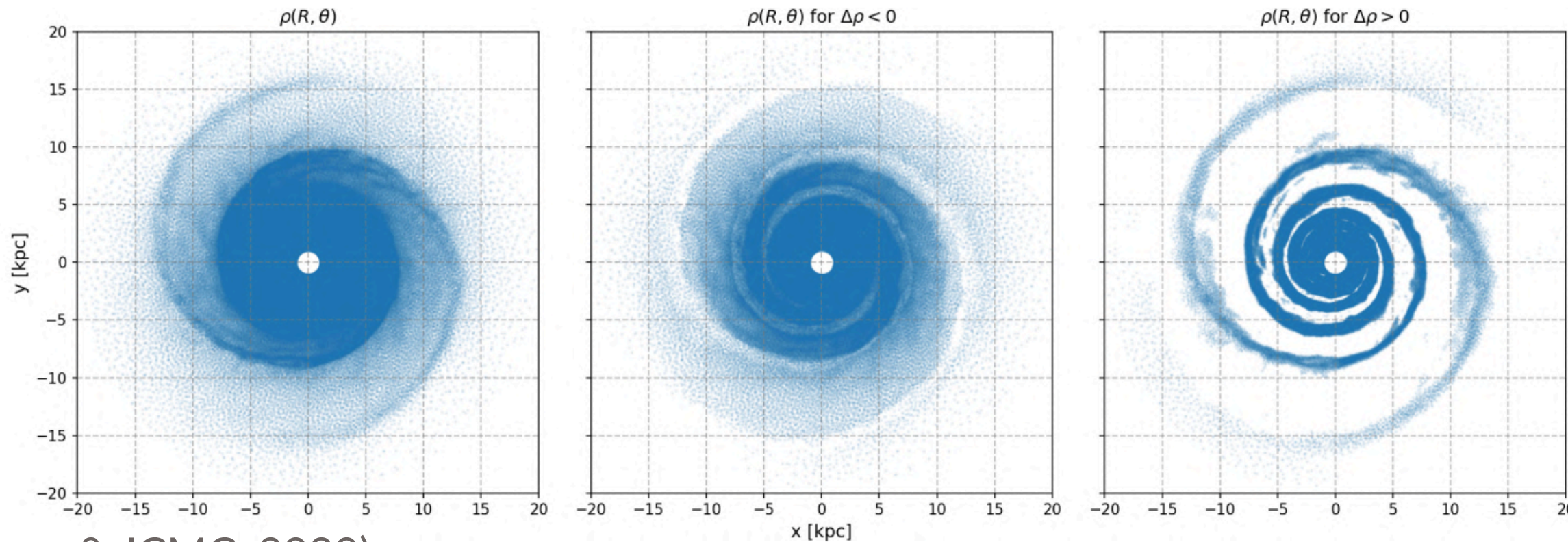
Definir un «Brazo» es difícil

Observación



(Davis & Hayes, 2014)

Simulación GIZMO

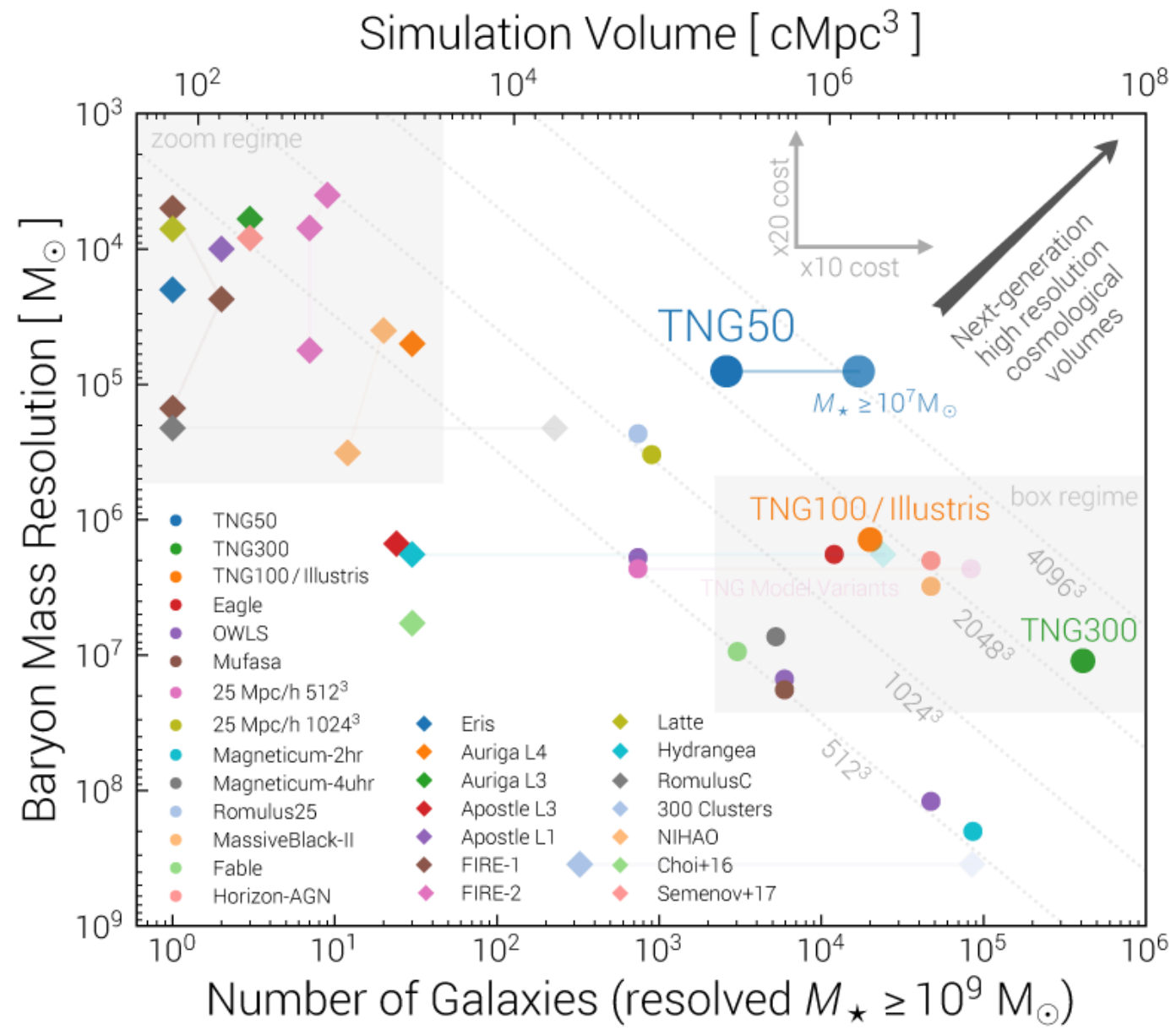


(Barros & JCMC, 2020)

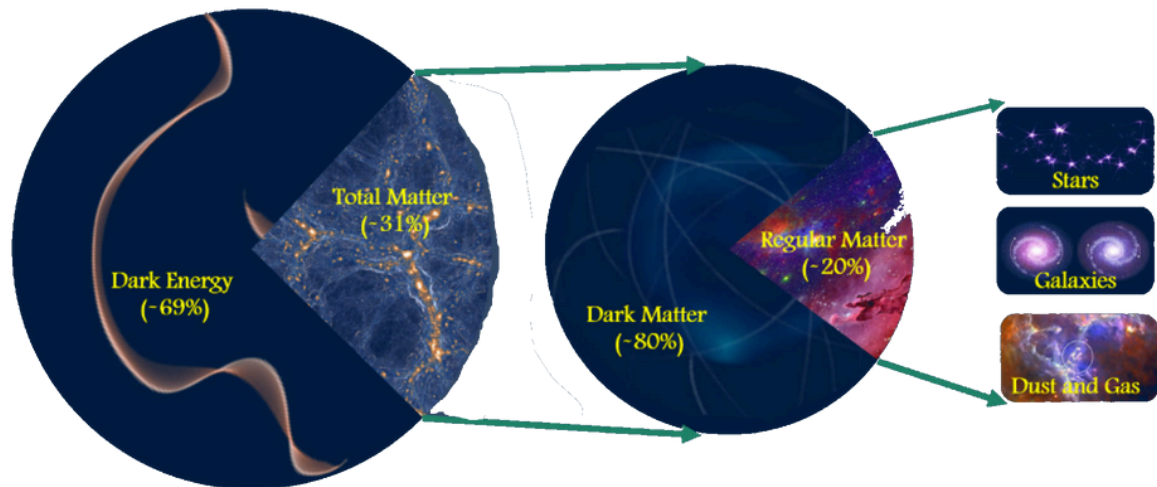
galaxia de laboratorio = galaxia aislada

Motivación

(Pillepich et al., 2019)

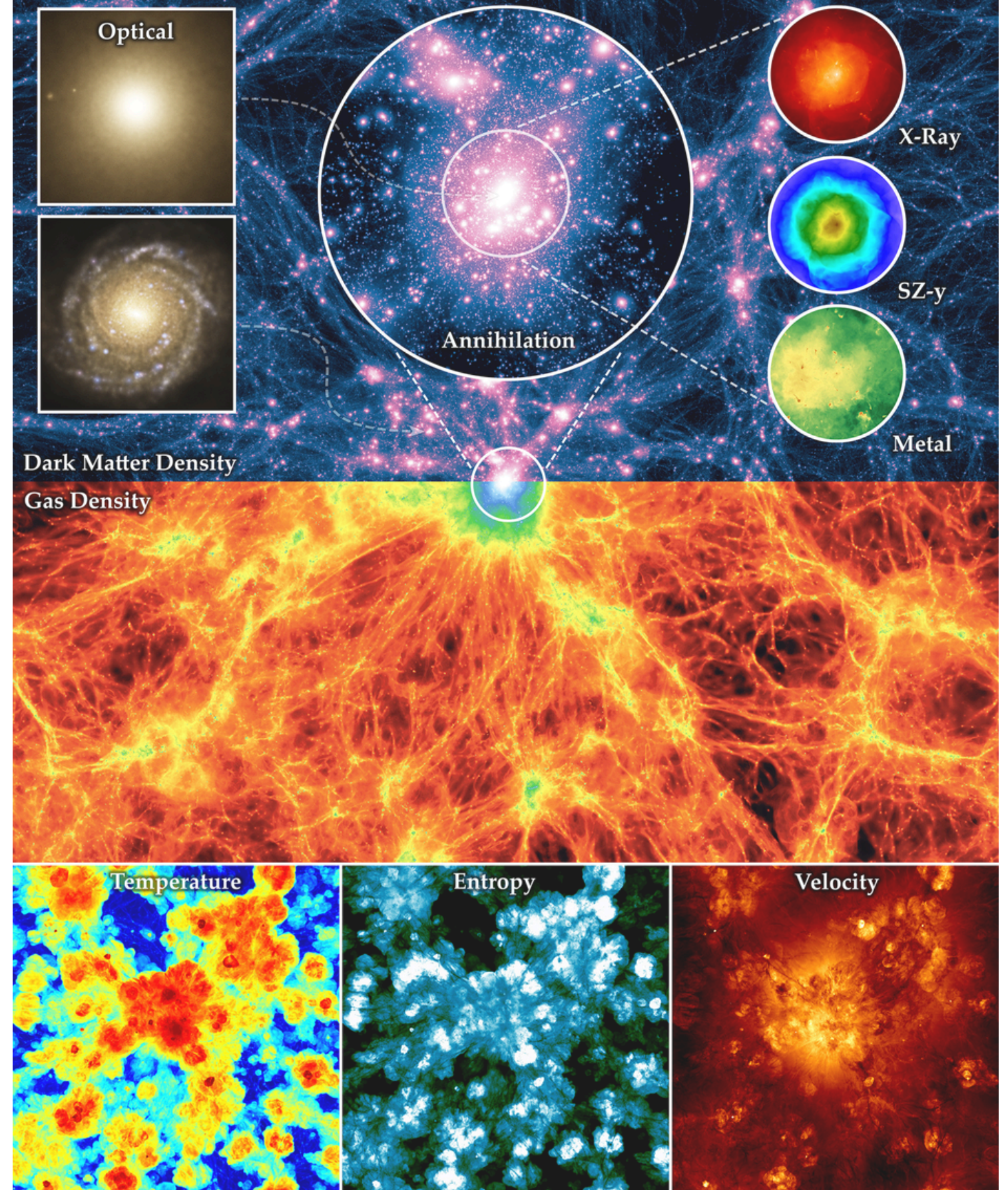


Abdullah et al.



The Illustris Simulation

M. Vogelsberger S. Genel V. Springel P. Torrey D. Sijacki D. Xu G. Snyder S. Bird D. Nelson L. Hernquist



Planteamiento

Con todo este contexto resulta interesante preguntarse:

¿Cómo se relacionan las propiedades del halo de materia oscura que hospeda una galaxia con las características de sus brazos espirales?

Parámetro	Variable	Unidades
Coordenadas	x, y, z	ckpc/h
Velocidad	vx, vy, vz	km/s
Momento angular	lxvel, lyvel, lzvel	kpc·km/s
Potencial gravitacional	Potential	(km/s) ²
Energía interna	U	(km/s) ²
Densidad	rho	(10 ¹⁰ M _⊙ /h)/(ckpc/h) ³

Tabla 1: Parámetros físicos extraídos de las celdas de gas (PartType0) de las simulaciones IllustrisTNG.

Parámetro	Variable	Unidades
Masa total	logmass	$M(M_{\odot}/h)$
Masa de gas	logmass0	$M_{\text{gas}}(M_{\odot}/h)$
Masa de materia oscura	logmass1	$M_{\text{DM}}(M_{\odot}/h)$
Masa estelar	logmass4	$M_{\text{stellar}}(M_{\odot}/h)$
Radio	SubhaloHalfmassRad	ckpc/h
Velocidad máxima	SubhaloVmax	km/s
Radio (V_{circMax})	SubhaloVmaxRad	ckpc/h

Tabla 2: Parámetros físicos extraídos para los halos.

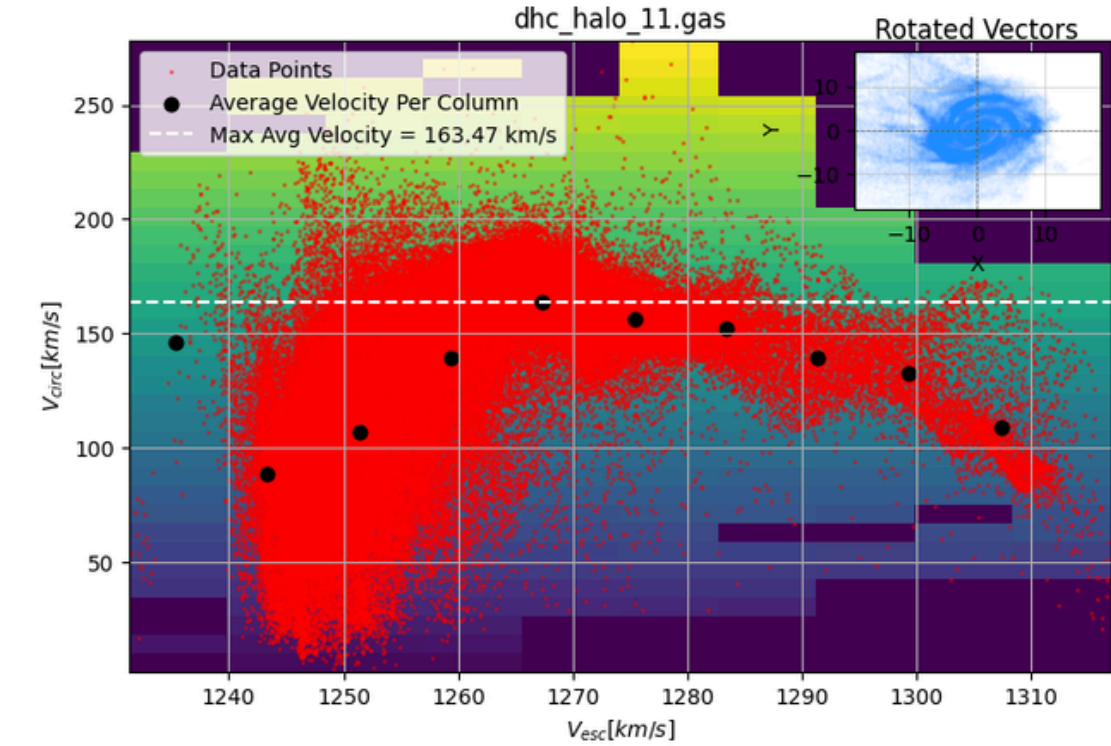


Metodología

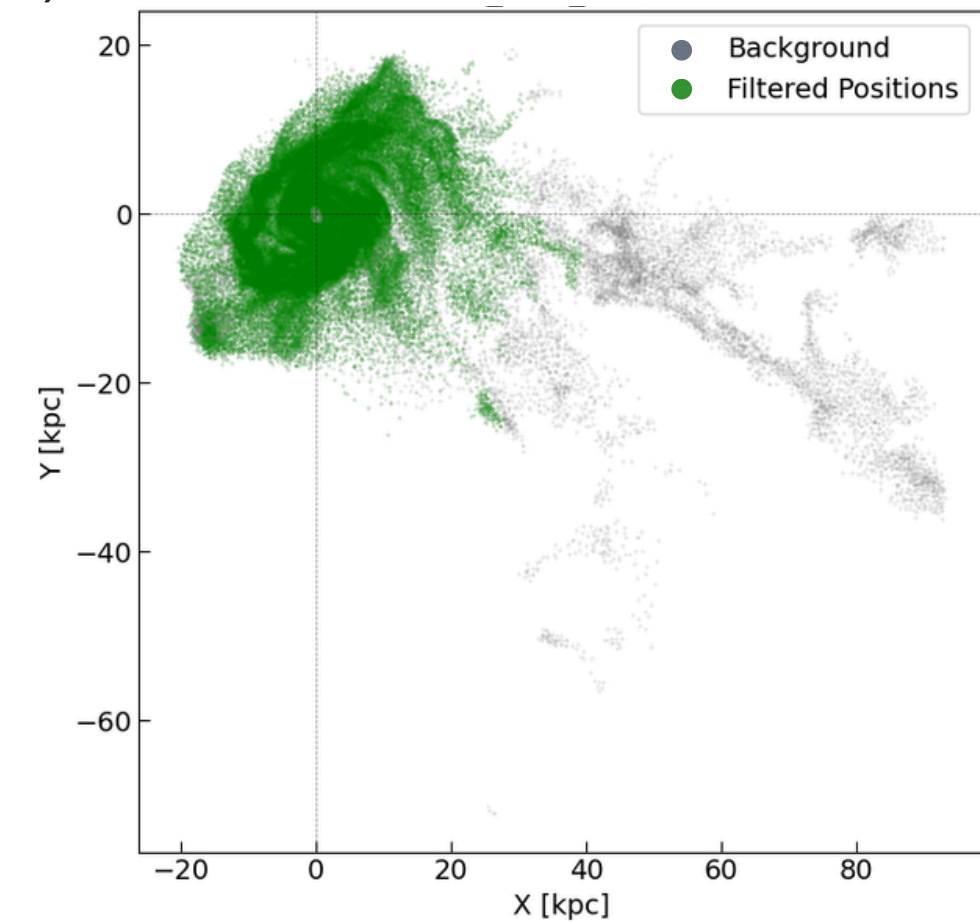
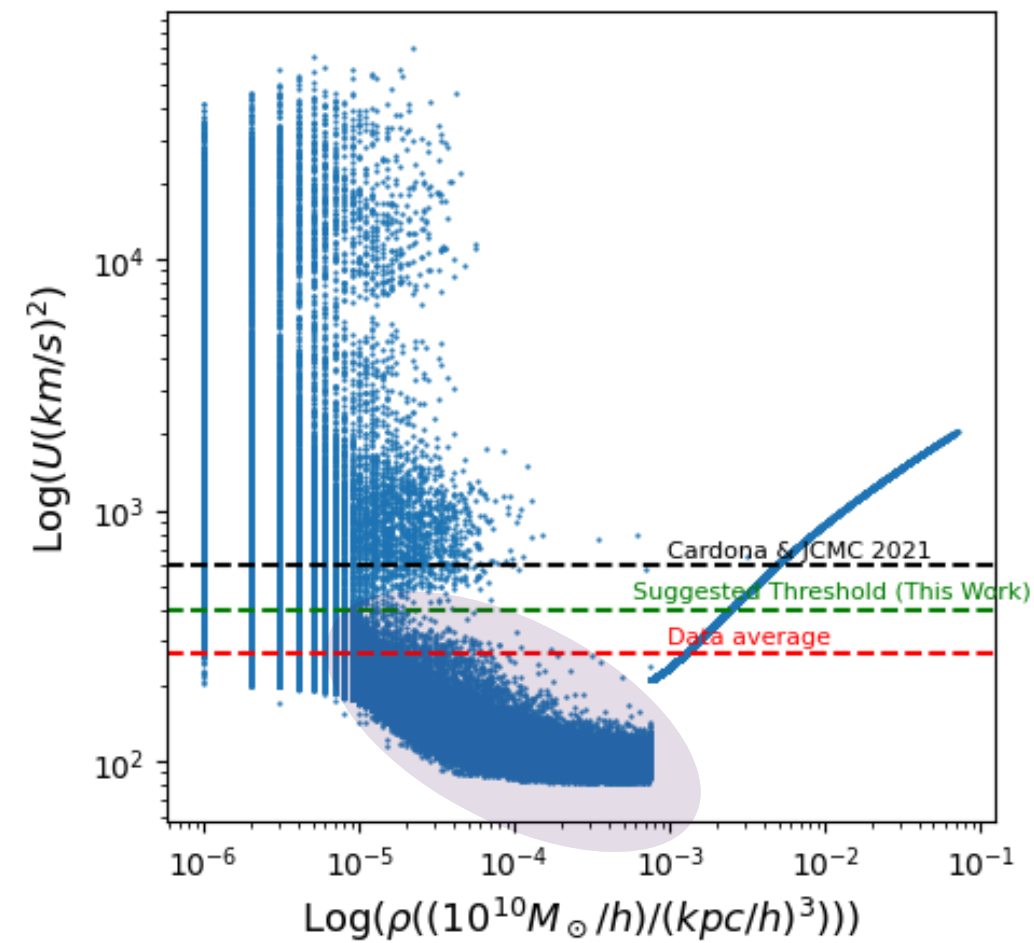
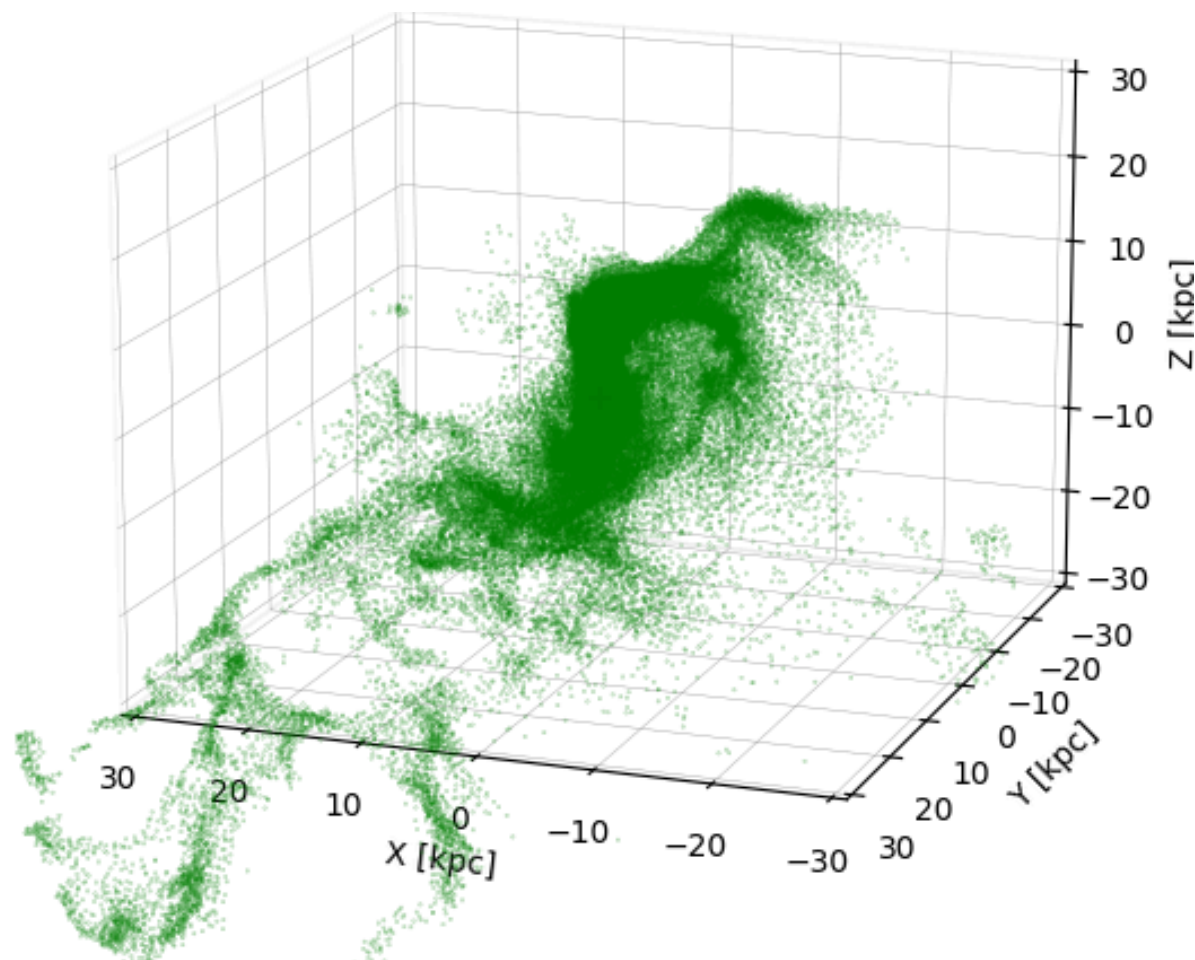
Selección y filtrado de Galaxias de Disco

- ✓ Subhalos con masa de gas $> 10^{9.6} M_{\text{sun}}$
- ✓ Selección de partículas por U para aislamiento del disco
- ✓ Total 8 Subhalos (de 377 Seleccionados)

(Muñoz-Cuartas in prep.)



(Cardona & Muñoz-Cuartas, 2021)

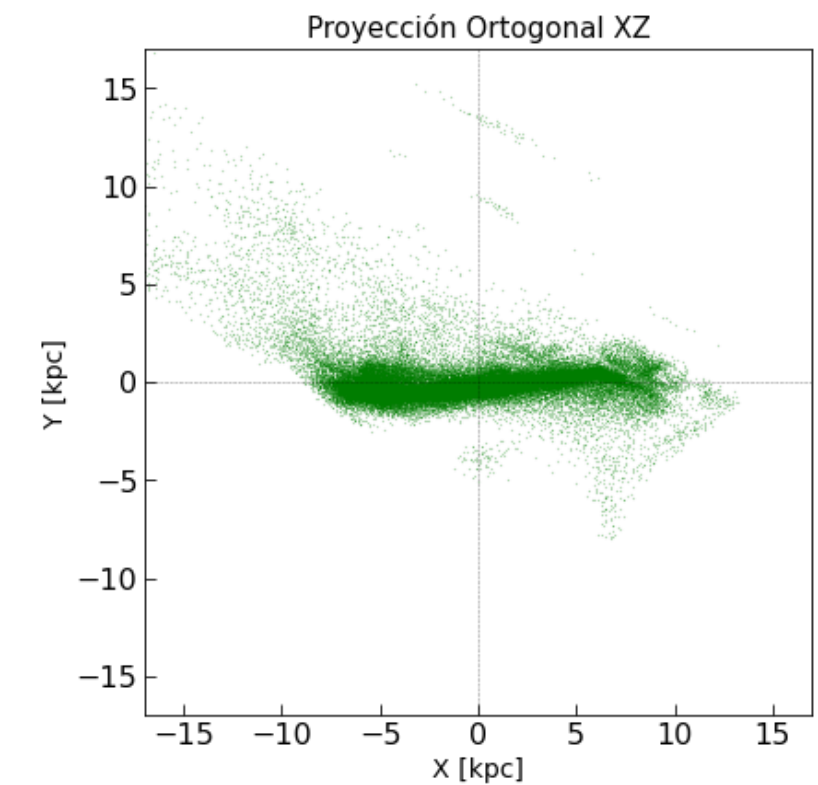
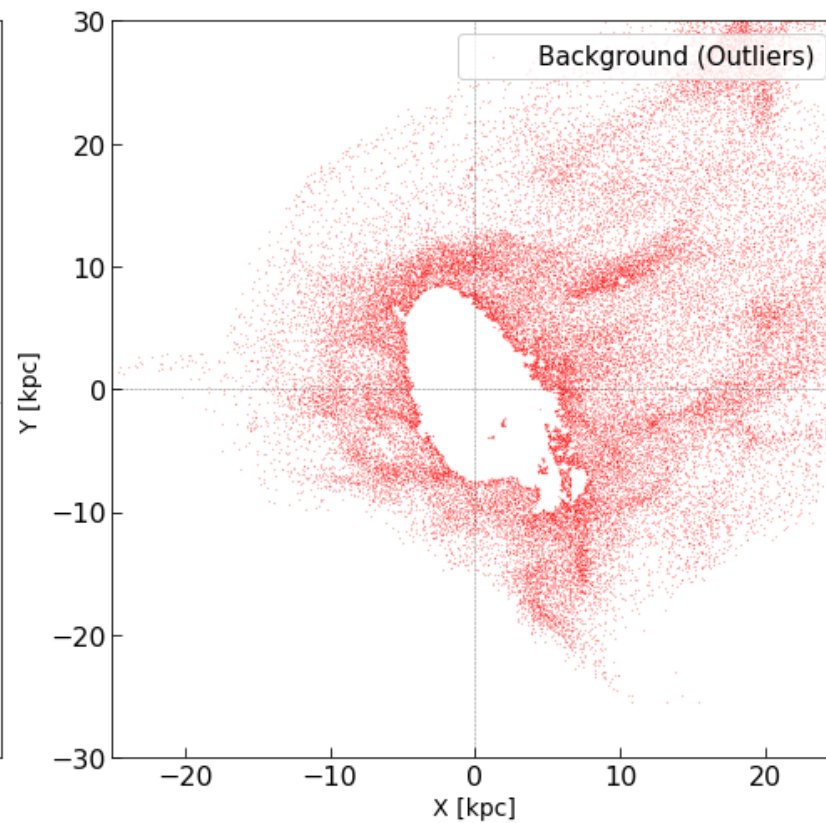
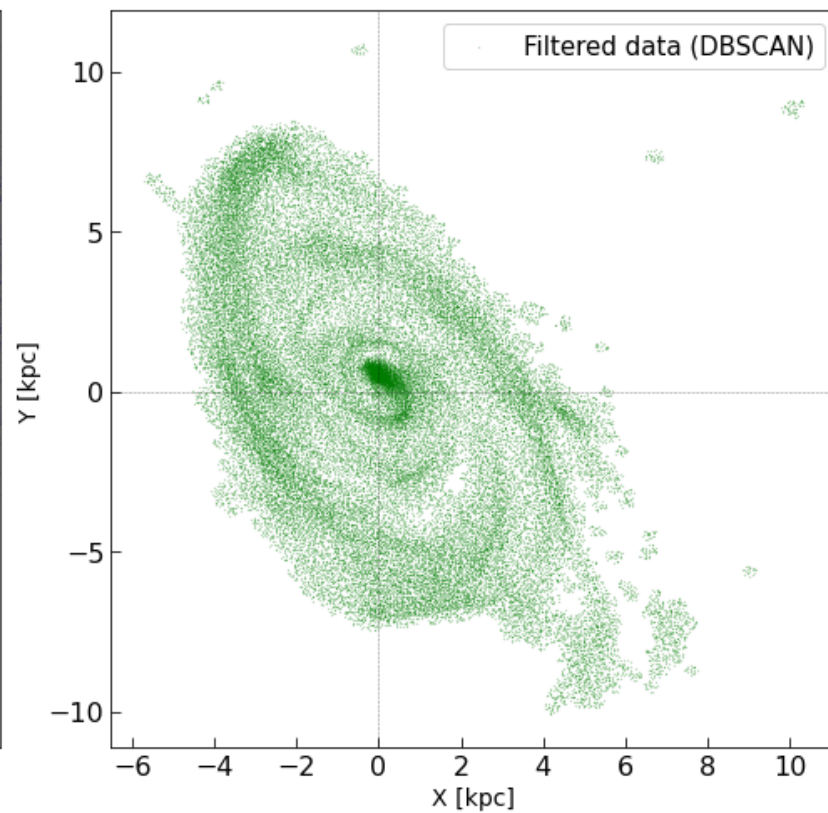
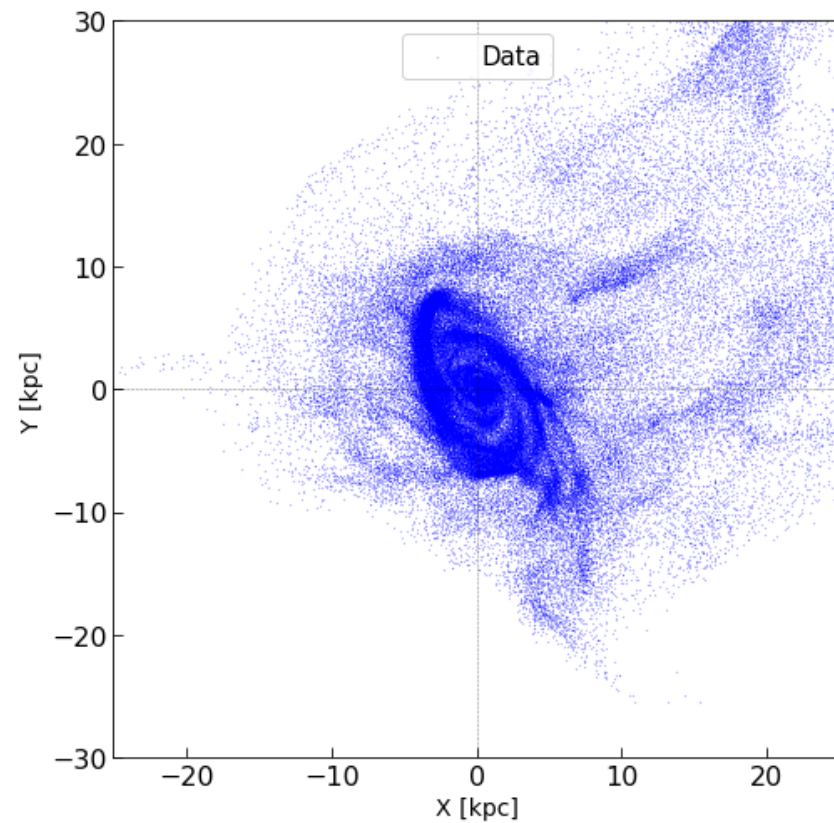
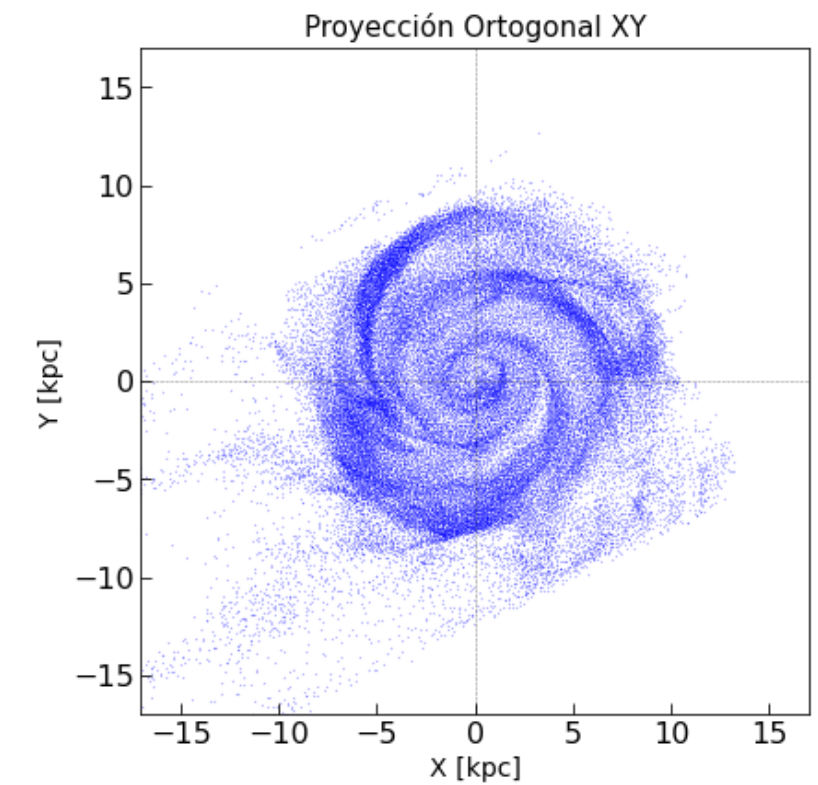


Metodología

Pre-procesamiento de Datos

- ✓ Inspección Visual del Disco de Gas
- ✓ Orientación y De-proyección ('Face On')
- ✓ Agrupamiento espacial basado en densidad (DBSCAN)

$$\vec{L} = \sum_{i=0}^N m_i \vec{r}_i \times \vec{v}_i$$





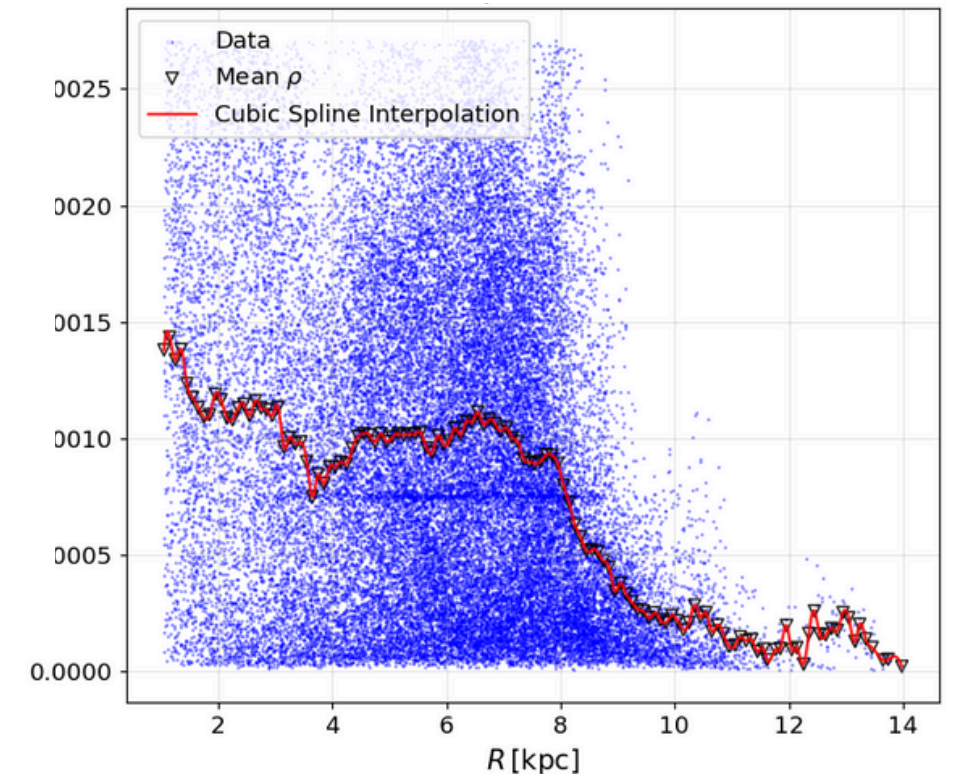
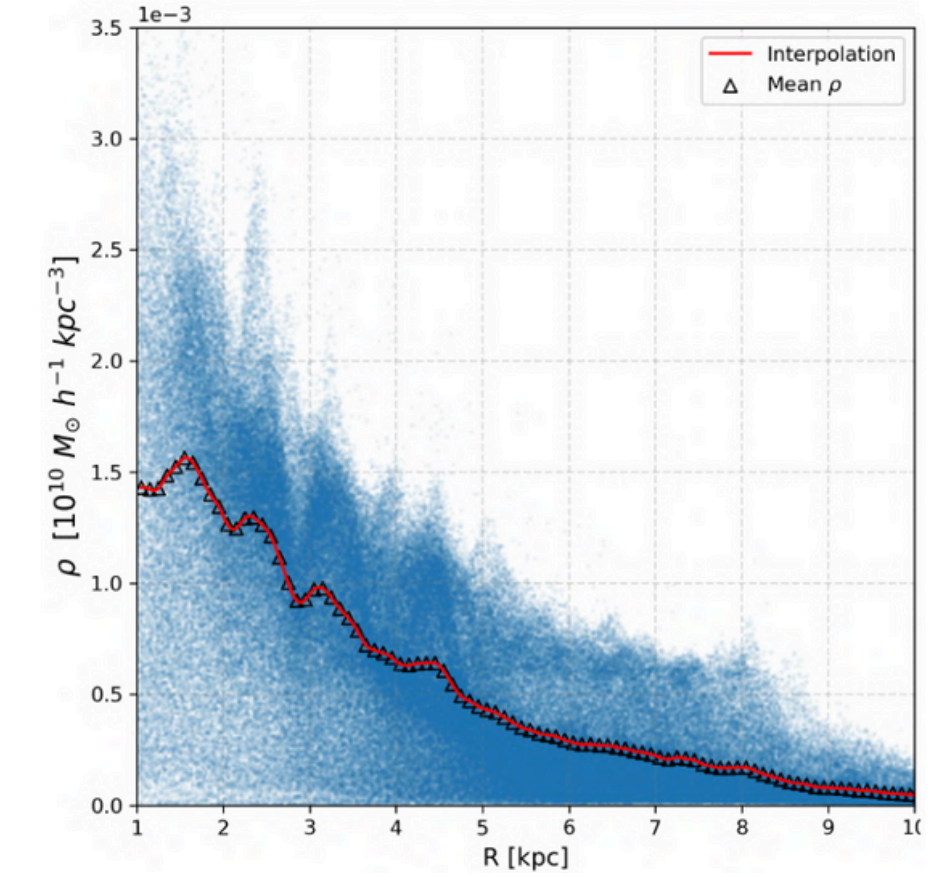
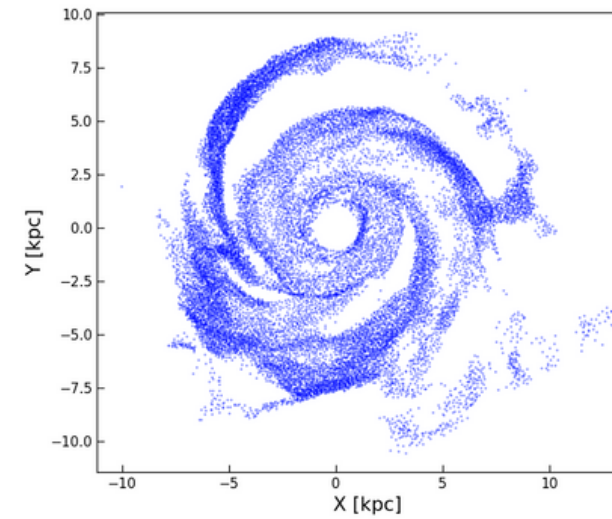
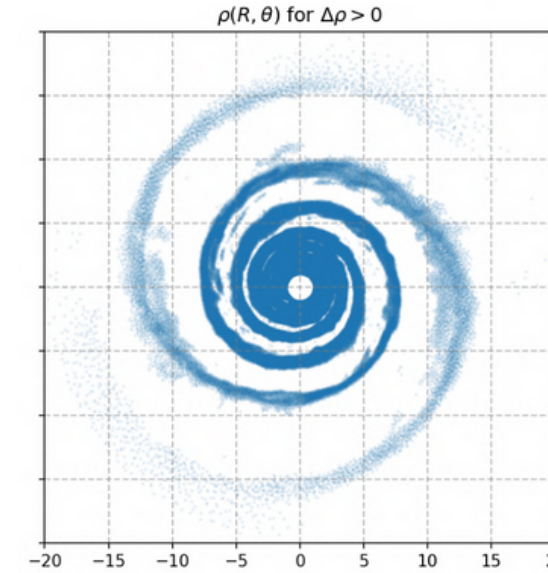
Metodología

Medición de Propiedades Morfológicas

- ☑ Perfil de Densidad Media
- ☑ Interpolación Cúbica para $f(R)$
- ☑ Contraste de Densidad

$$\Delta\rho = \frac{\rho(R, \theta, z)}{f(R)} - 1 \begin{cases} \Delta\rho < 0: \text{Partículas de fondo.} \\ \Delta\rho > 0: \text{Regiones de sobredensidad.} \end{cases}$$

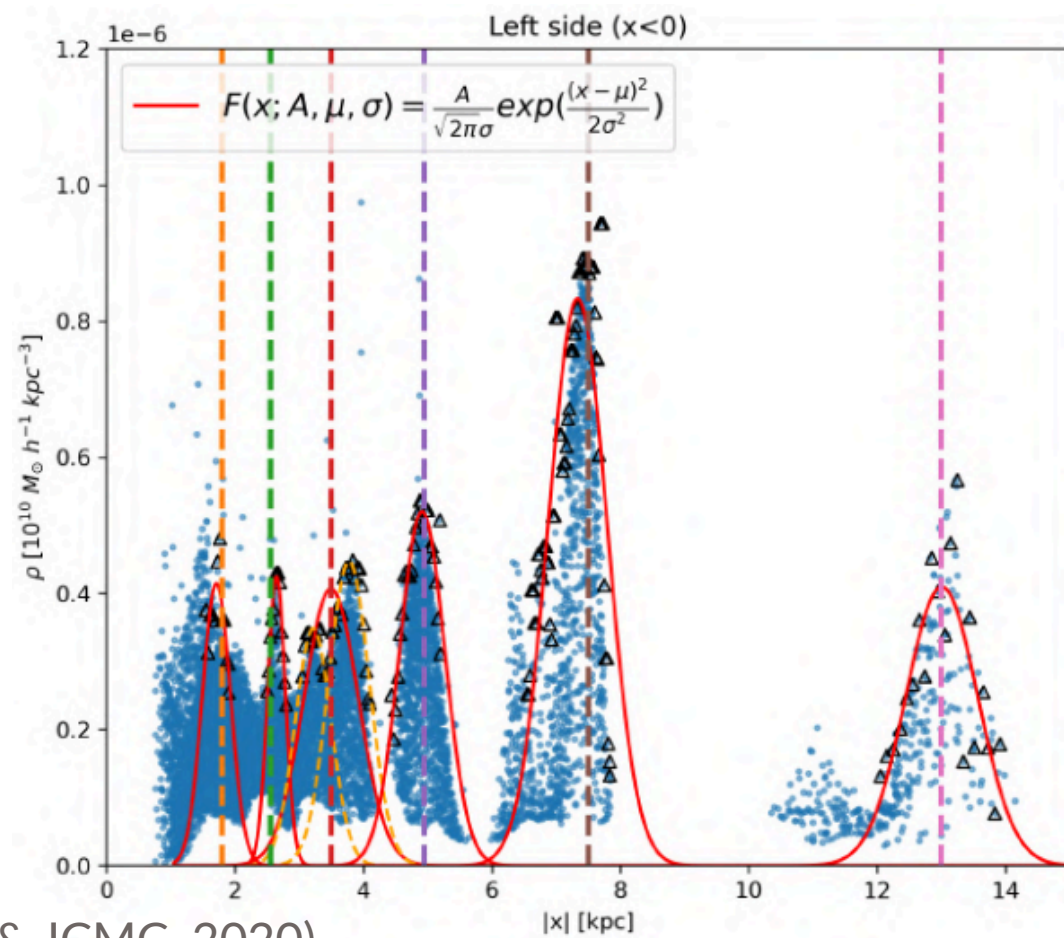
(Barros & JCMC, 2020)





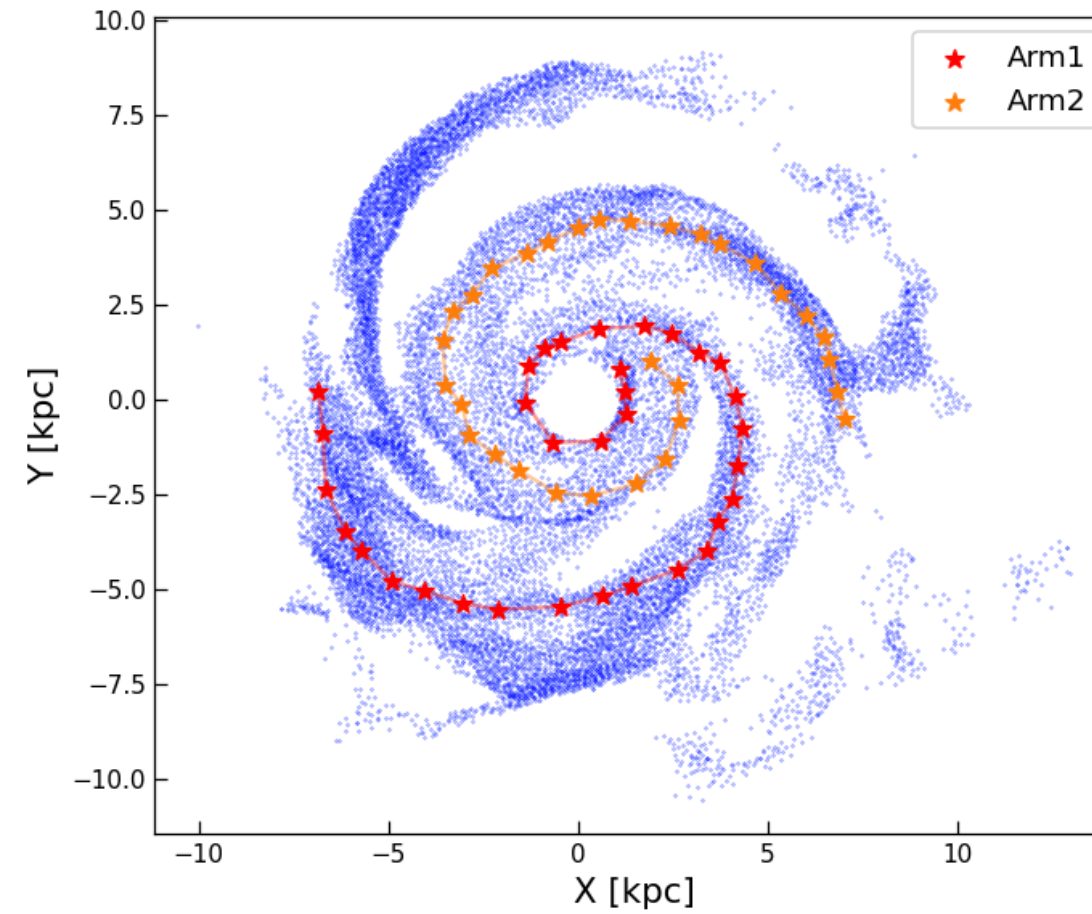
Medición de Propiedades Morfológicas

- ✓ Puntos para el trazado de brazos
- ✓ Medición y ajuste del ancho
- ✓ Cálculo de la longitud del brazo



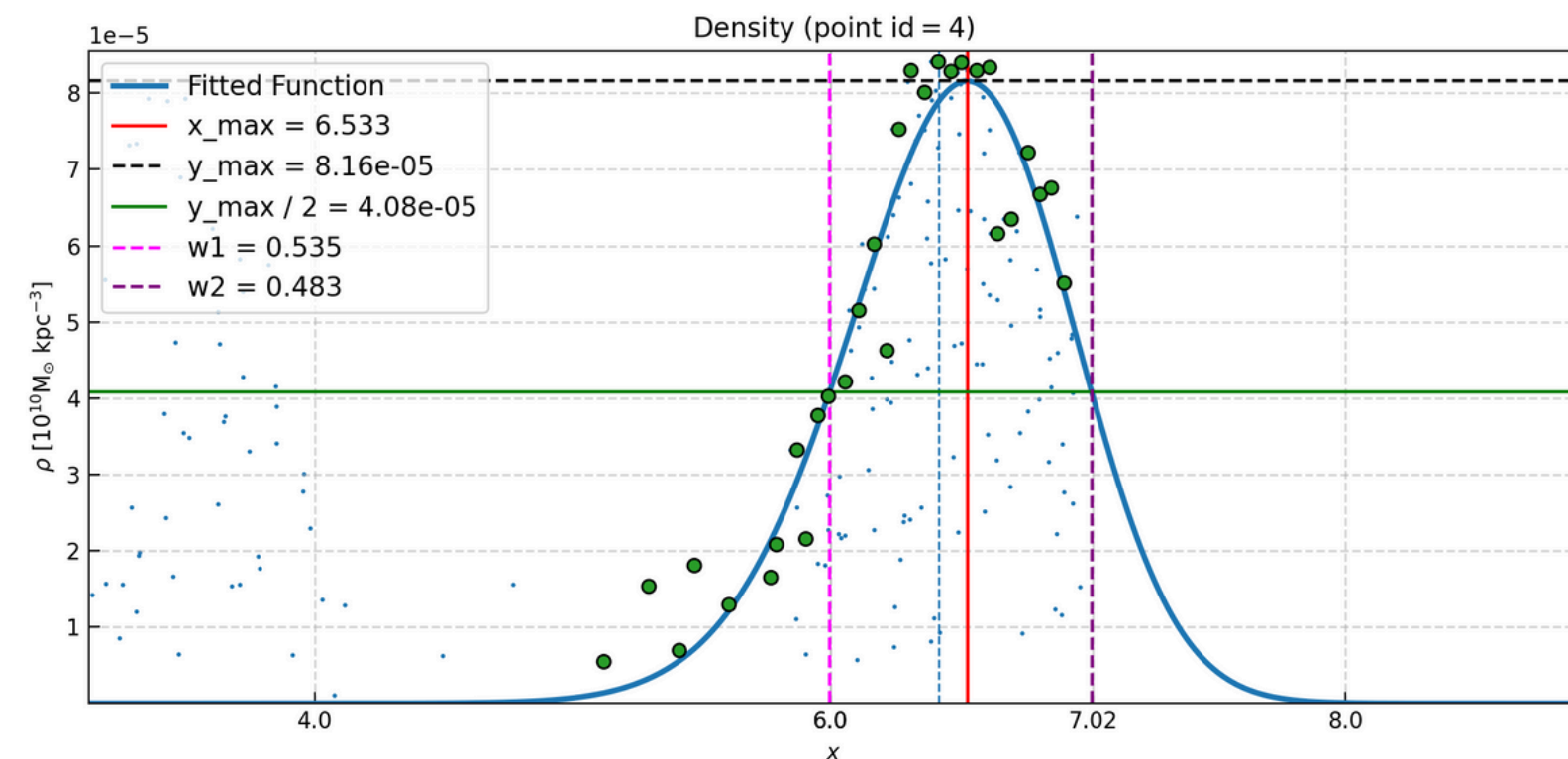
(Barros & JCMC, 2020)

Metodología



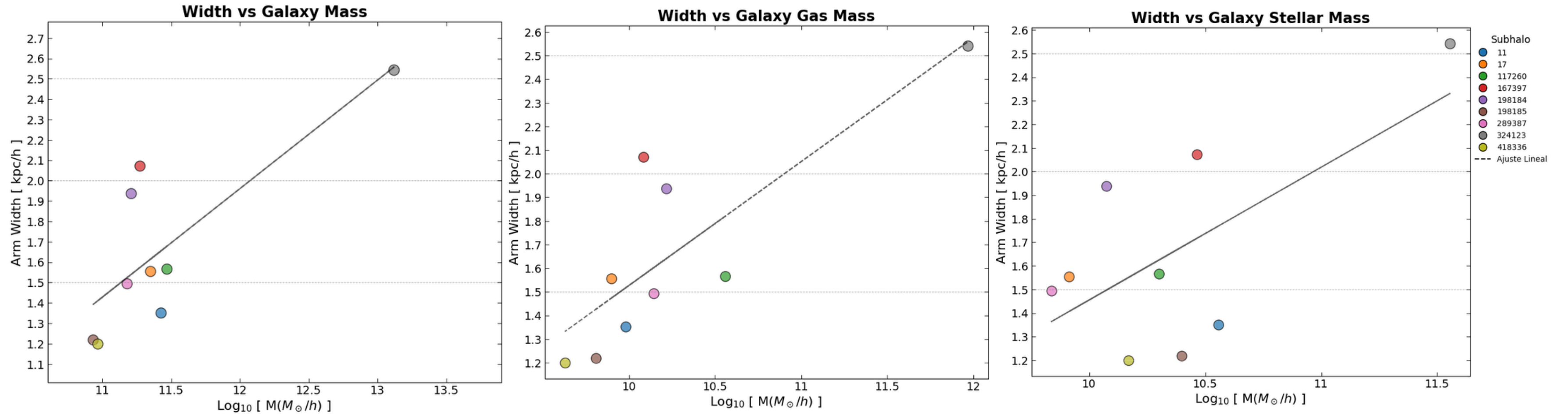
Resultados:

- 1) Ancho del brazo (R)
- 2) Amplitud del brazo (R)





Resultados



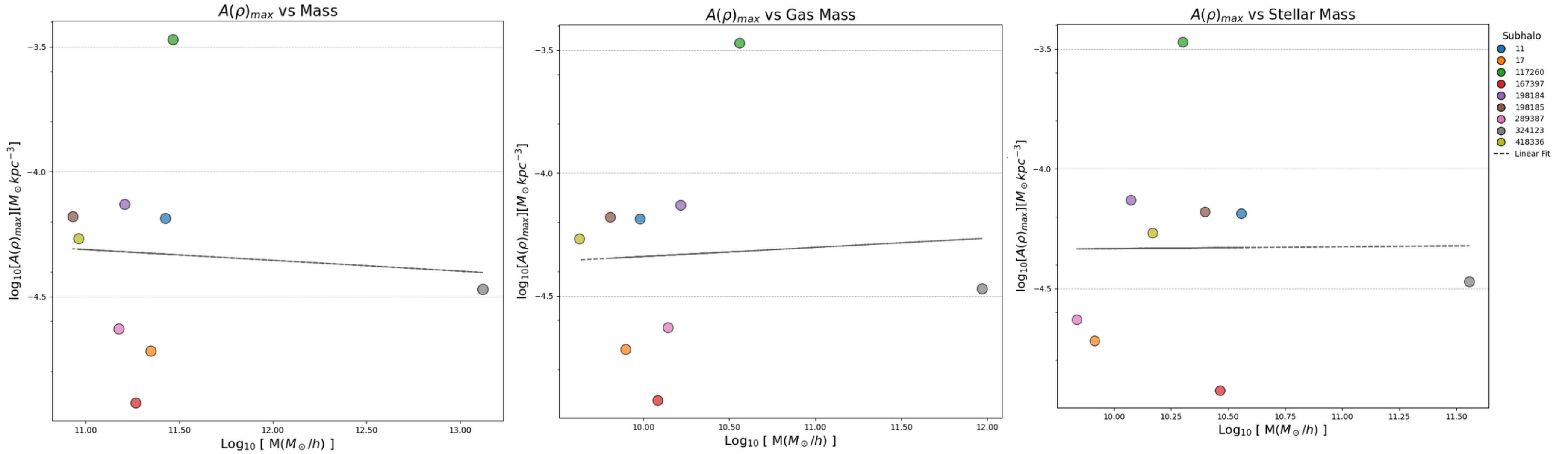
El **ancho** de los brazos varía sistemáticamente como función de la distancia al centro

Dependencia del **ancho** de los brazos con la masa estelar y la masa de gas de los discos galácticos.

A mayor masa, mayor es el ancho
¿potencial? ¿concentración?



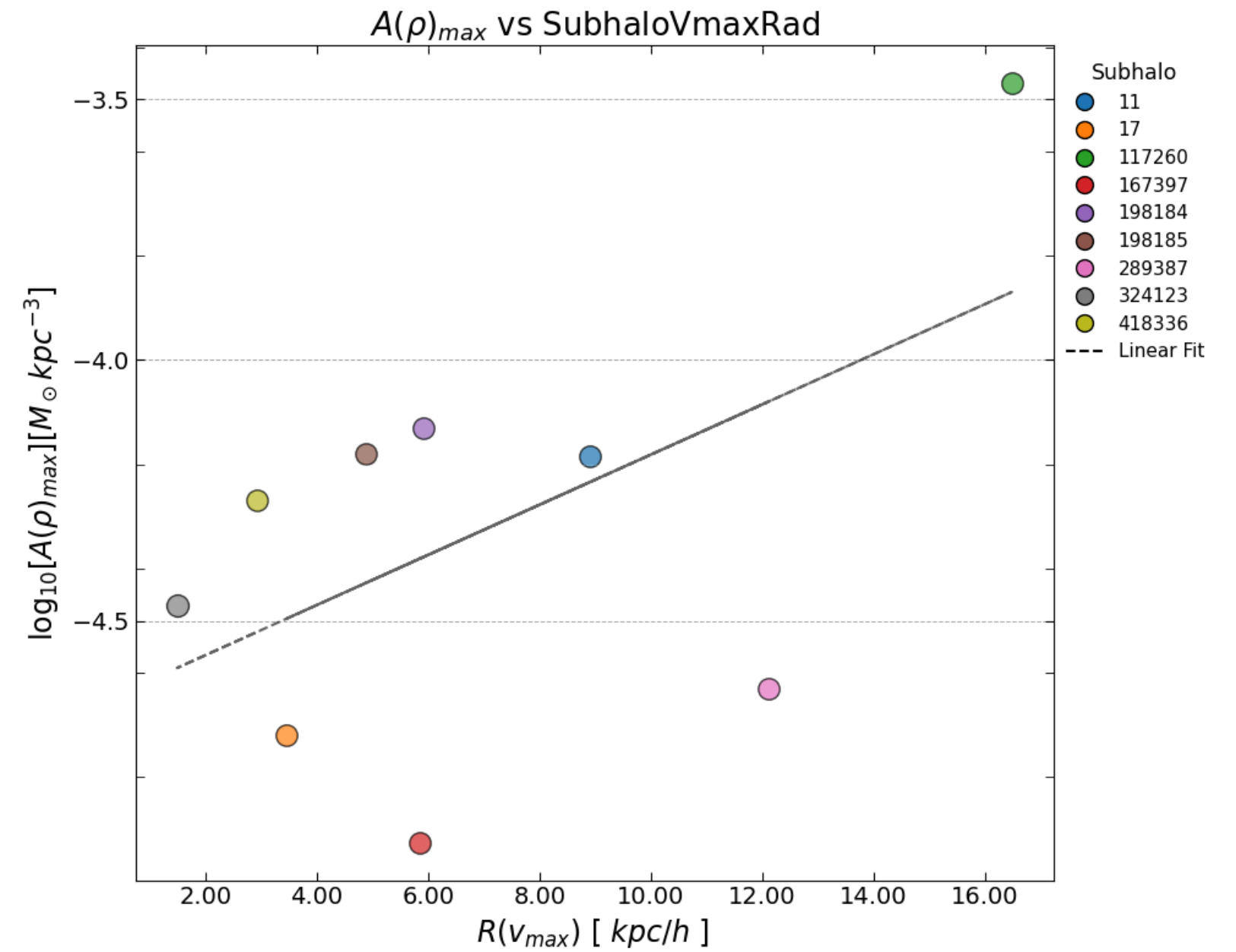
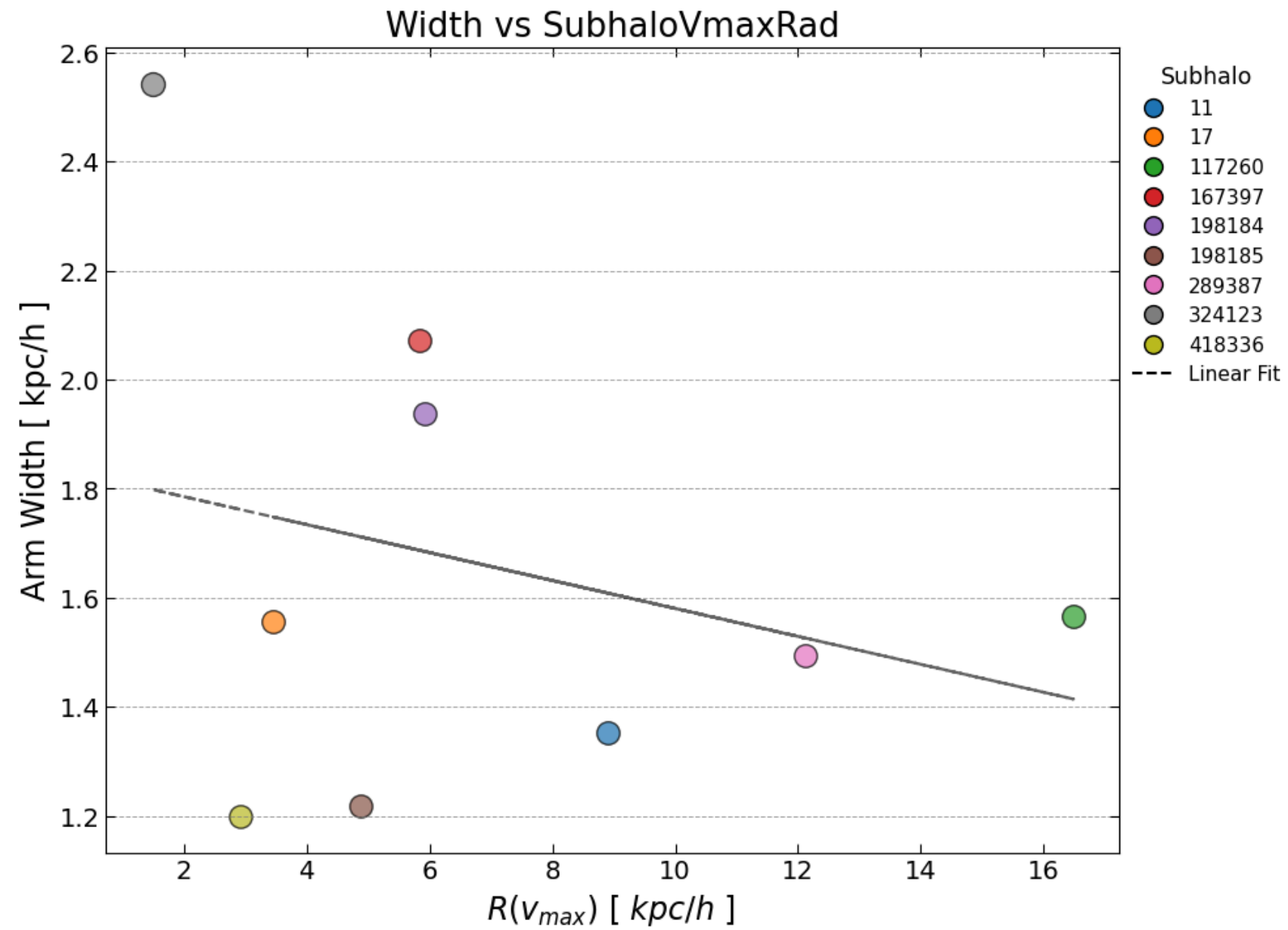
Resultados



La **amplitud** del brazo no varía de manera sistemática con la masa de halo huésped



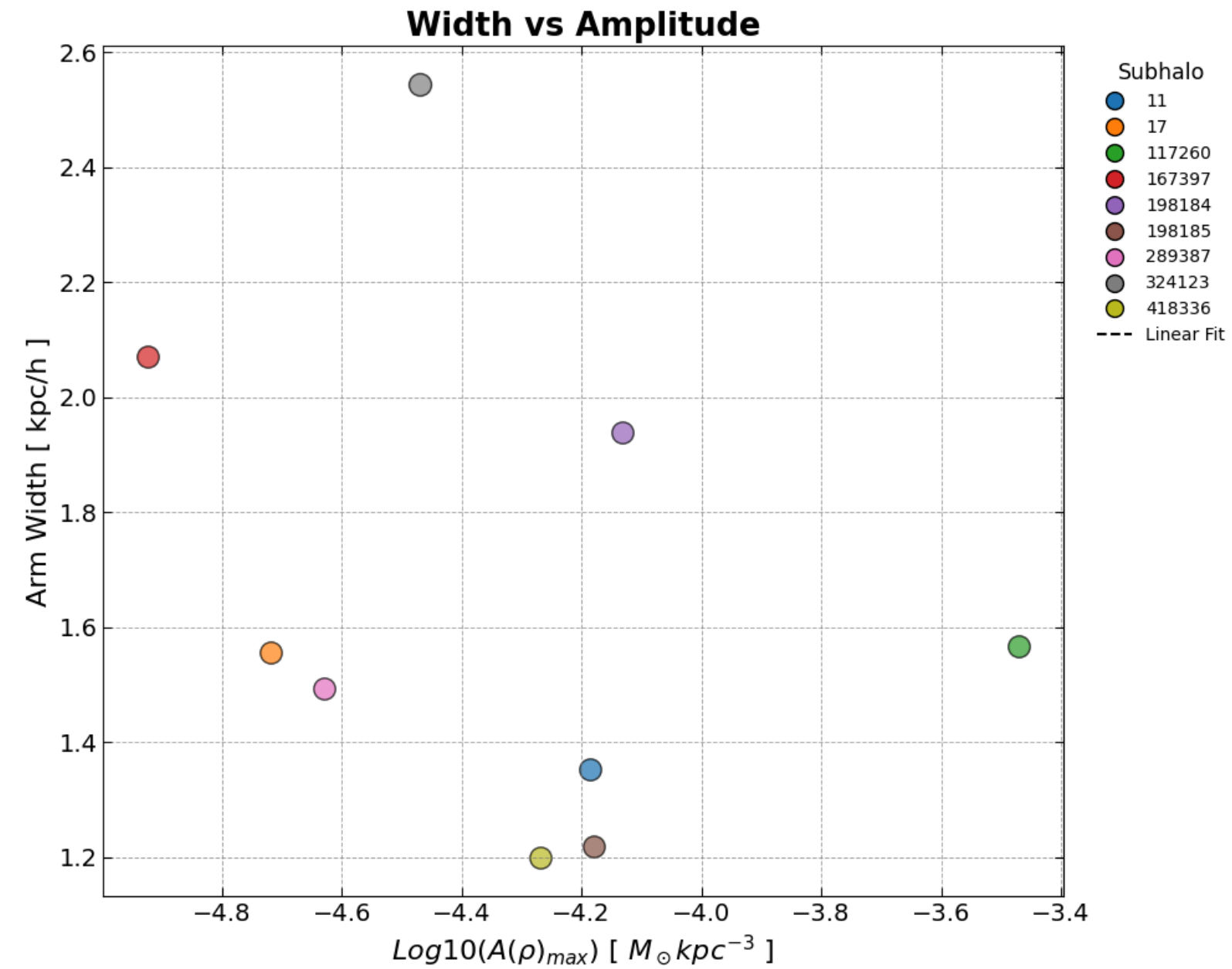
Resultados



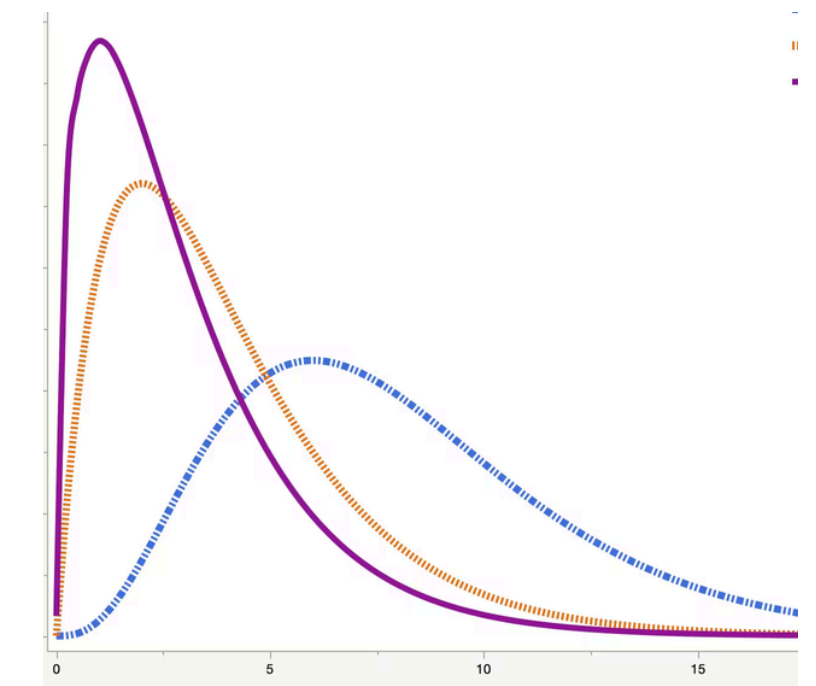
$R(v_{max})$ es una medida indirecta de la concentración de masa del Subhalo.
¿distribución? ¿ancho?



Resultados



Relación con la distribución de la Masa del Subhalo



No es una conexión trivial: Nuestra muestra de galaxias tiene mas o menos la misma masa...



Conclusiones

1. Los métodos desarrollados funcionan adecuadamente en la caracterización de las estructuras espirales de discos aislados.

2. Se encontró que la media de los brazos espirales en nuestra muestra de galaxias, crece proporcionalmente con la masa de la galaxia (Masa de halo, gas y estelar).

Se necesitan más datos para confirmar esta tendencia (¡Trabajo en curso!)

¿Esta relación puede estar asociada a la concentración del halo de materia oscura? (¡trabajo futuro!)

3. Se encontró que la amplitud del brazo no varía de manera sistemática con la masa de halo huésped

4. Se encontró que tanto el ancho como la amplitud varían con el radio al cual la curva de rotación del halo alcanza su máximo (R_{vmax}) indicando una posible relación con la forma como se distribuye la masa total en la galaxia (ver 2)

5. En definitiva es necesario extender este trabajo a una **muestra más amplia** de galaxias (resolver problema de identificación de brazos en una muestra grande) y pasar a ver **como esto aplica en datos de observaciones** (¡Trabajo en curso y futuro!)



Referencias

Barros Ramírez, D. F. (2020). Star formation in disk galaxies and its relation with spiral structure in numerical simulations (Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia). Grupo de Física y Astrofísica Computacional (FACom), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Física.

Pillepich, A., Nelson, D., Springel, V., Pakmor, R., Torrey, P., Weinberger, R., ... & Hernquist, L. (2019). First results from the TNG50 simulation: the evolution of stellar and gaseous discs across cosmic time. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 490(3), 3196-3233.

Silva-Villa, E., & Cano Gómez, X. (2022). NGC 5236's stars as tracers of arms and arm widths in spiral galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 514(1), L22-L26.

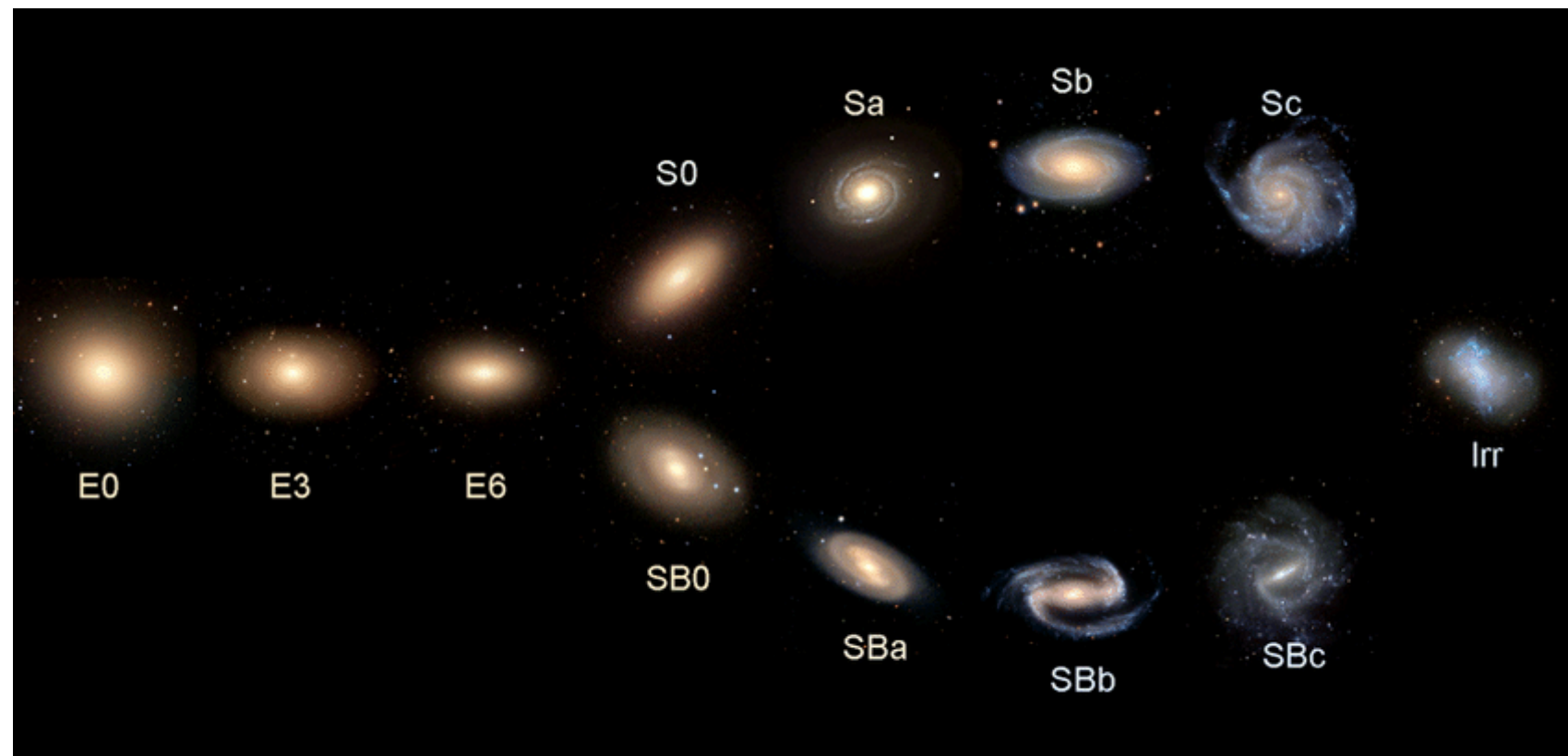
Yu, S. Y., & Ho, L. C. (2020). The Statistical Properties of Spiral Arms in Nearby Disk Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 900(2), 150.

Gracias

Thank you for watching

••• ¿Qué observamos?

Clasificación de Hubble



(Cui et al., 2014)

☑ Galaxias elípticas

El perfil de brillo se aproxima con mediante un perfil de Vaucouleurs:

$$I(R) = I_e \exp \left(-7.669 \left[(R/R_e)^{1/4} - 1 \right] \right) \quad (\text{de Vaucouleurs, 1948})$$

$$L = \int_0^{\infty} dR 2\pi R I(R) = 7.215\pi I_e R_e^2$$

☑ Galaxias lenticulares y de disco

Galim. combina un bulbo central con un disco extendido donde la luz decrece exponencialmente:

$$I(r) = I_0 e^{-r/h} \quad (\text{Freeman, 1970})$$

¿Cómo podemos entender estos sistemas complejos?

Modelo teóricos + Soluciones numéricas

Freeman (1970): evidencia de un "dark halo" esferoidal
Galaxias espirales: un sistema de tres componentes

(a) Bulbo (Hernquist, 1990):

$$\rho_b(r) = \frac{M_b}{2\pi} \frac{R_b}{r(r + R_b)^3}$$

(b) Halo (Navarro et al., 1995):

$$\rho_h(r) = \rho_{crit} \frac{\delta_0}{(r/r_s)(1 + r/r_s)^2}$$

(c) Disco (Freeman, 1970):

$$\rho(R, z) = \Sigma(R)\lambda(z) = \frac{M_d}{4\pi R_d^2 z_0} e^{-R/R_d} \text{sech}^2(z/z_0)$$

