

Revelando los núcleos de galaxias cercanas: la era del JWST

Laura Hermosa Muñoz

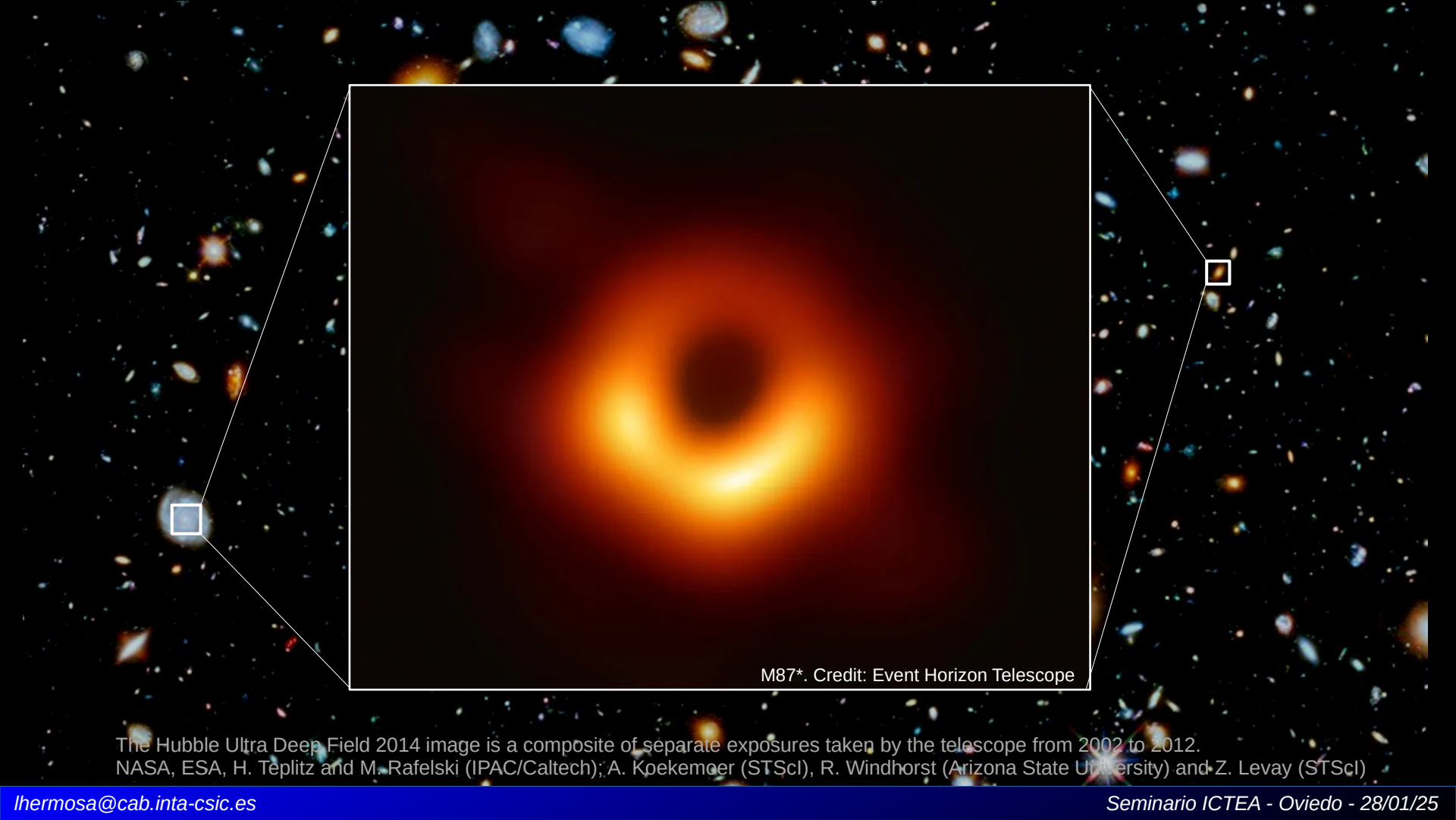
Centro de Astrobiología (CAB) CSIC-INTA, Madrid

Collaborators: A. Alonso-Herrero, I. García-Bernete, A. Labiano, M. Pereira-Santaella + GATOS collaboration + MICONIC collaboration



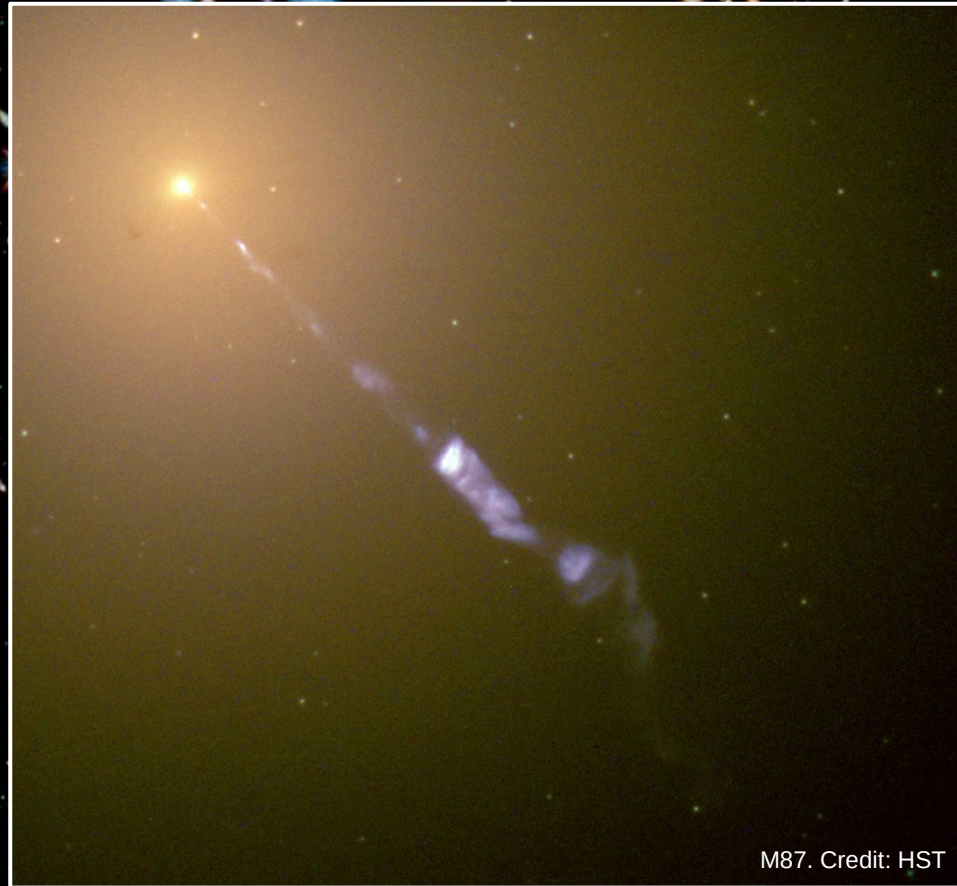


The Hubble Ultra Deep Field 2014 image is a composite of separate exposures taken by the telescope from 2002 to 2012.
NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech); A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University) and Z. Levay (STScI)



M87*. Credit: Event Horizon Telescope

The Hubble Ultra Deep Field 2014 image is a composite of separate exposures taken by the telescope from 2002 to 2012.
NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech); A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University) and Z. Levay (STScI)

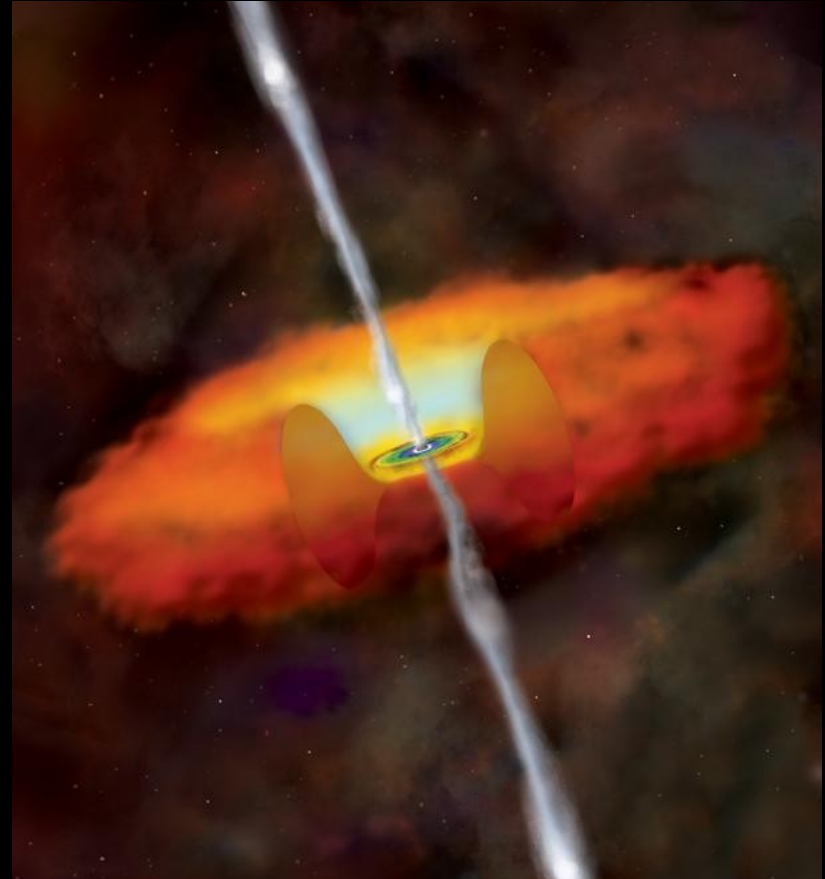


M87. Credit: HST

The Hubble Ultra Deep Field 2014 image is a composite of separate exposures taken by the telescope from 2002 to 2012. NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech); A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University) and Z. Levay (STScI)

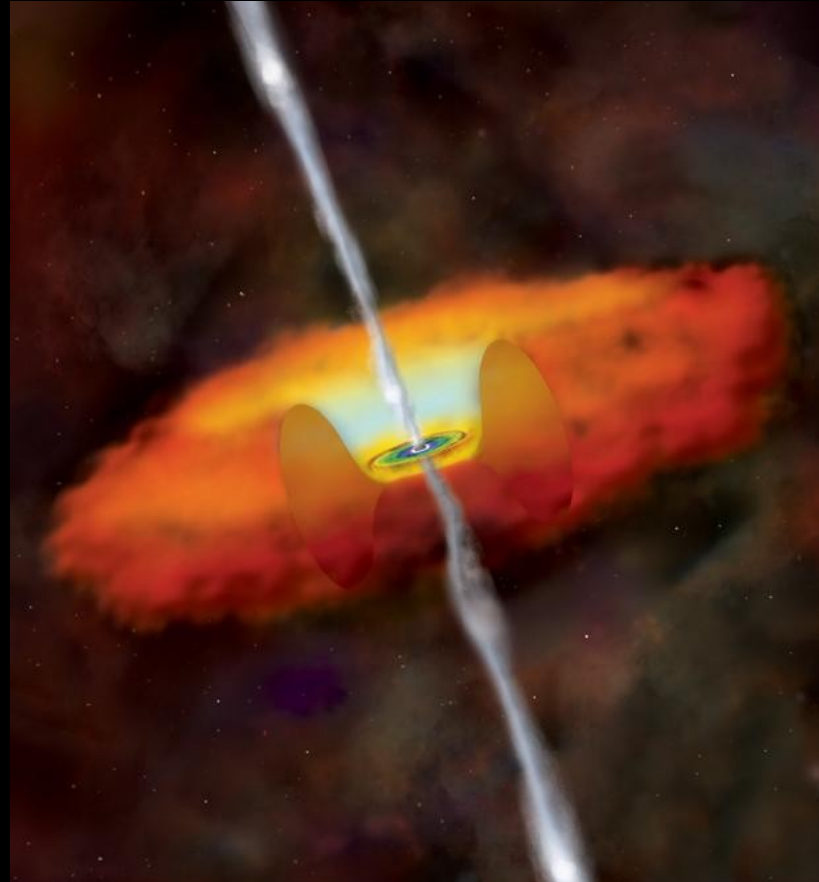
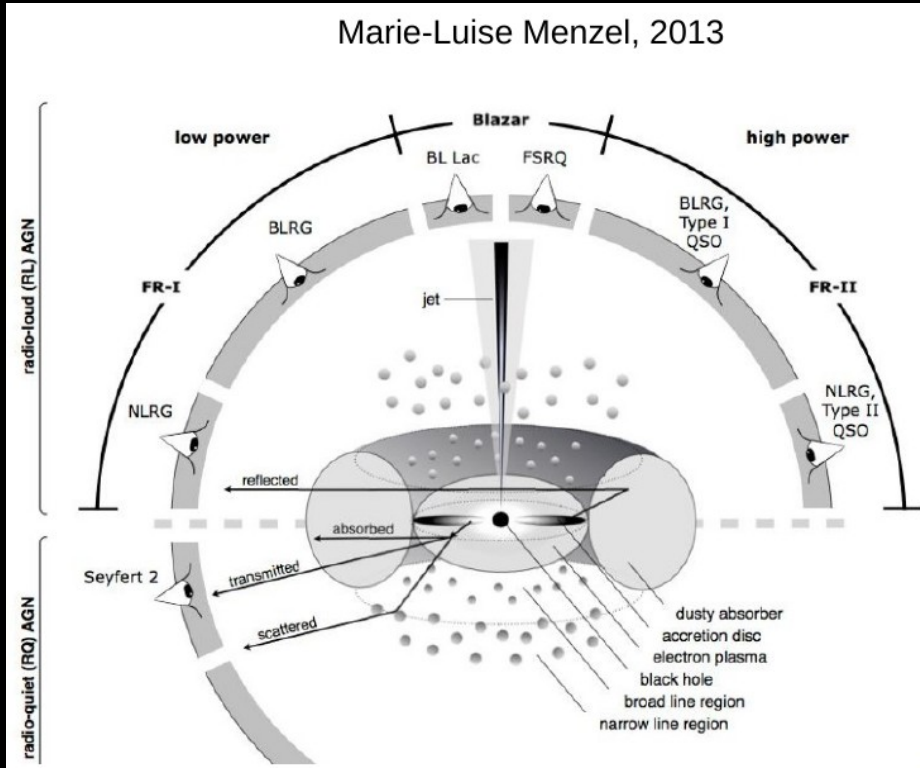
Active Galactic Nuclei (AGN)

- Región compacta alrededor del SMBH en el centro de algunas galaxias.
- Objetos no transitorios más luminosos del Universo.
- Cuanto mayor la acreción, mayor la luminosidad
→ **distintos tipos** (LINER, Seyfert, Quasar).



Active Galactic Nuclei (AGN)

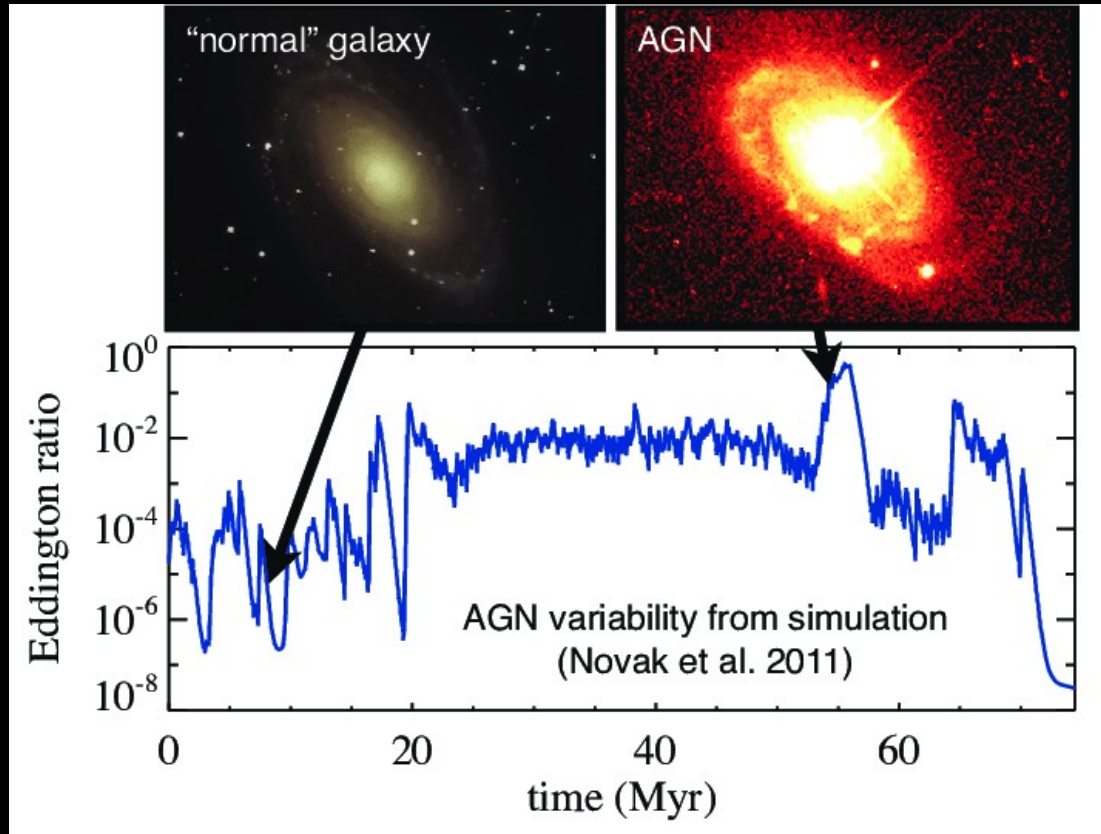
Marie-Luise Menzel, 2013



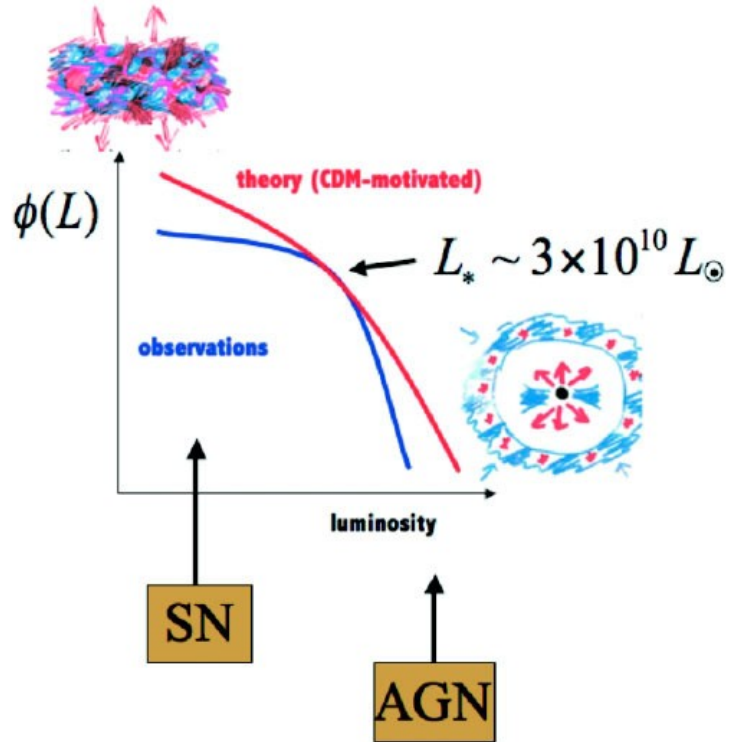
La fase de **AGN**

Todas las galaxias masivas se cree que pasan por una fase activa **al menos una vez** en su vida.

Esta fase dura pocos Myr pero afecta a la evolución de su galaxia a muchas escalas.



Los procesos de retroalimentación

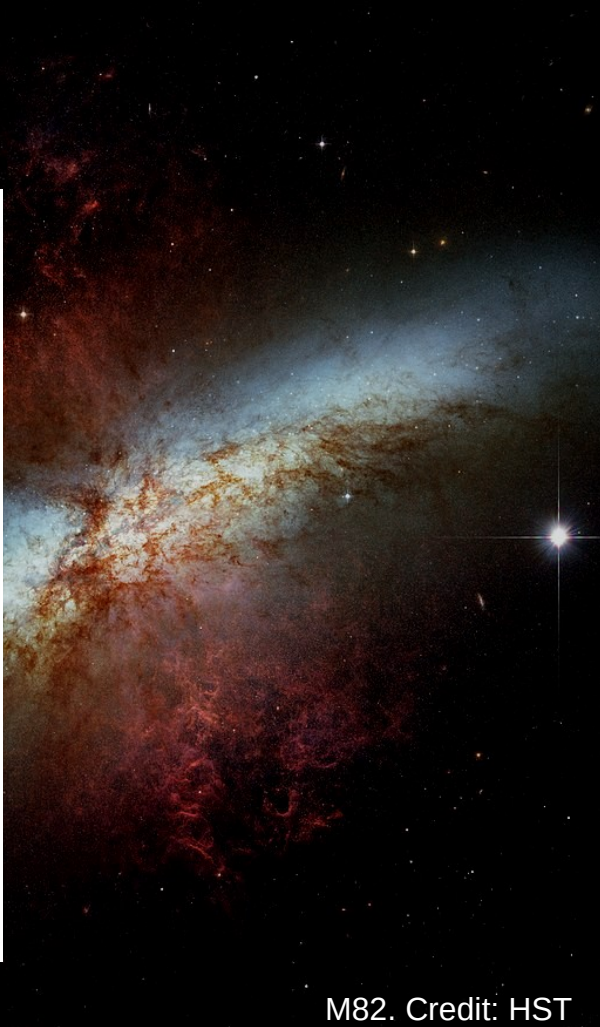
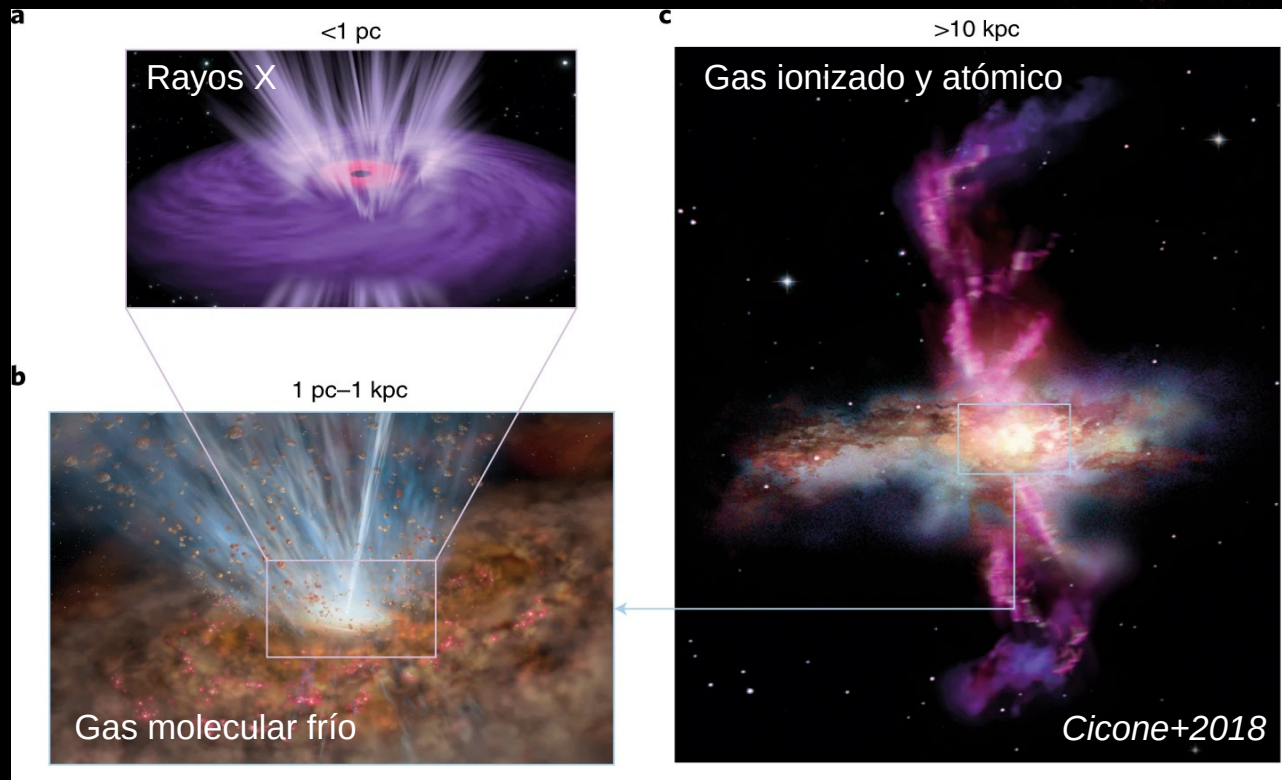


Silk 2011



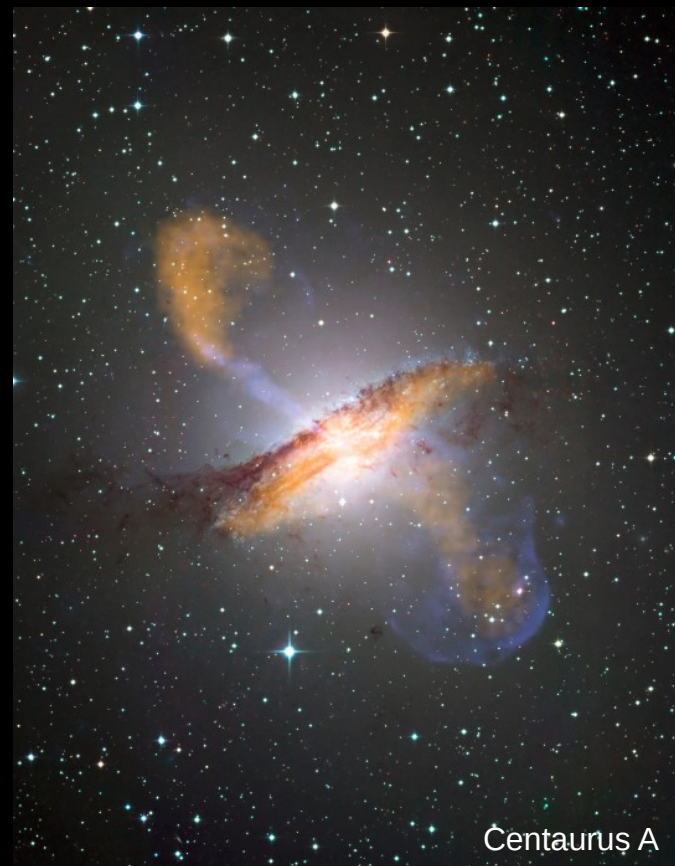
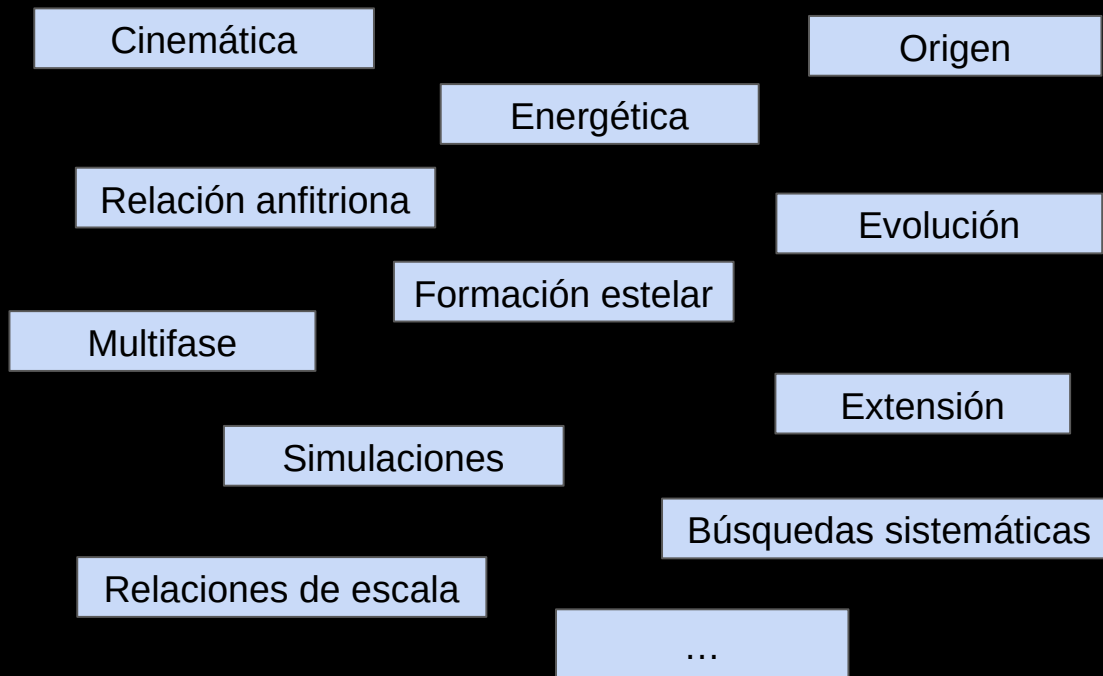
M82. Credit: HST

¿Qué son **outflows**?



M82. Credit: HST

Los outflows en galaxias: “hot” topic



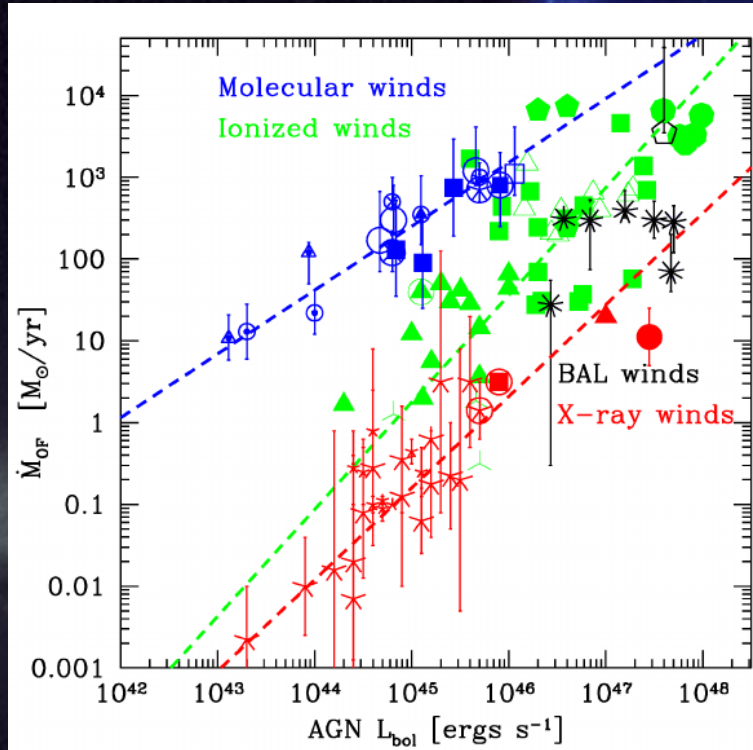
Alonso-Herrero et al. 2023, Fabian et al. 2012, Kormendy & Ho 2013, Heckman & Best 2014, Ciccone et al. 2014, 2018, Masegosa et al. 2011, Cazzoli et al. 2014, 2016, 2018, Cresci et al. 2015, 2017, Carniani et al. 2015, Kakkad et al. 2020, Harrison et al. 2017, 2018, Hermosa Muñoz et al. 2022, 2024, Maiolino et al. 2017, Müller-Sánchez et al. 2018, Ramos-Almeida et al. 2017, 2022, Fiore et al. 2017, Perna et al. 2017, Riffel et al. 2018, Fluetsch et al. 2019, 2021, Veilleux et al. 2005, 2020, Venturi et al. 2021, Zhang et al. 2024...

¿Son comunes los outflows?

Parecen estar presentes de manera **ubiqua** en todo tipo de AGNs.
(for a review see *Veilleux et al. 2005*)

Su potencia escala con la luminosidad del AGN
(e.g. *Fluetsch et al. 2019*)

Naturaleza **multi-longitud de onda**
(e.g. *Cicone et al. 2014, Fluetsch et al. 2021*)



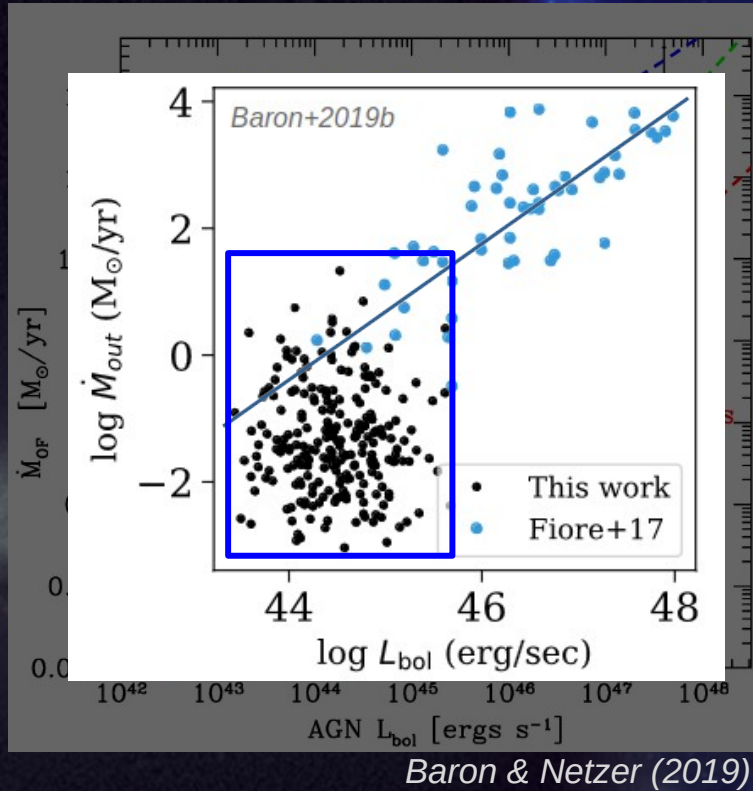
Fiore et al. (2017)

¿Son comunes los outflows?

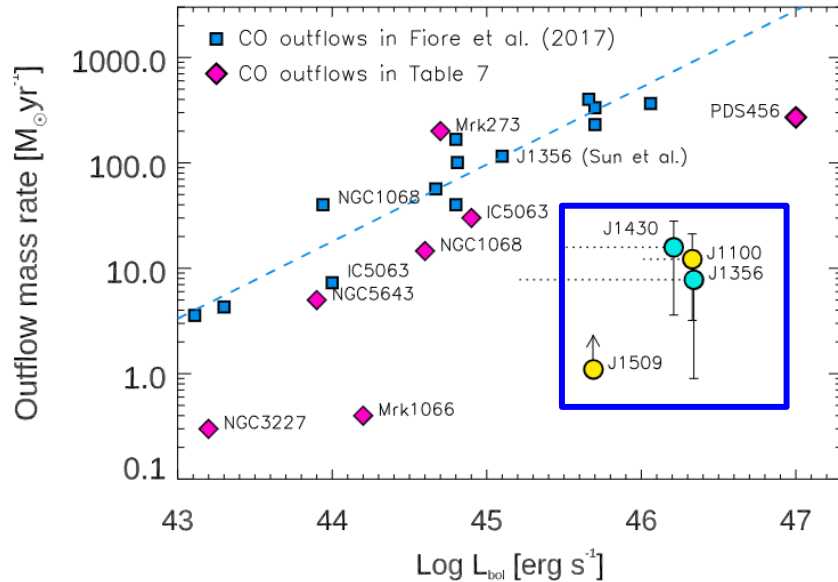
Parecen estar presentes de manera **ubiqua** en todo tipo de AGNs.
(for a review see *Veilleux et al. 2005*)

Su potencia escala con la luminosidad del AGN
(e.g. *Fluetsch et al. 2019*)

Naturaleza **multi-longitud de onda**
(e.g. *Cicone et al. 2014, Fluetsch et al. 2021*)



¿Son comunes los outflows?



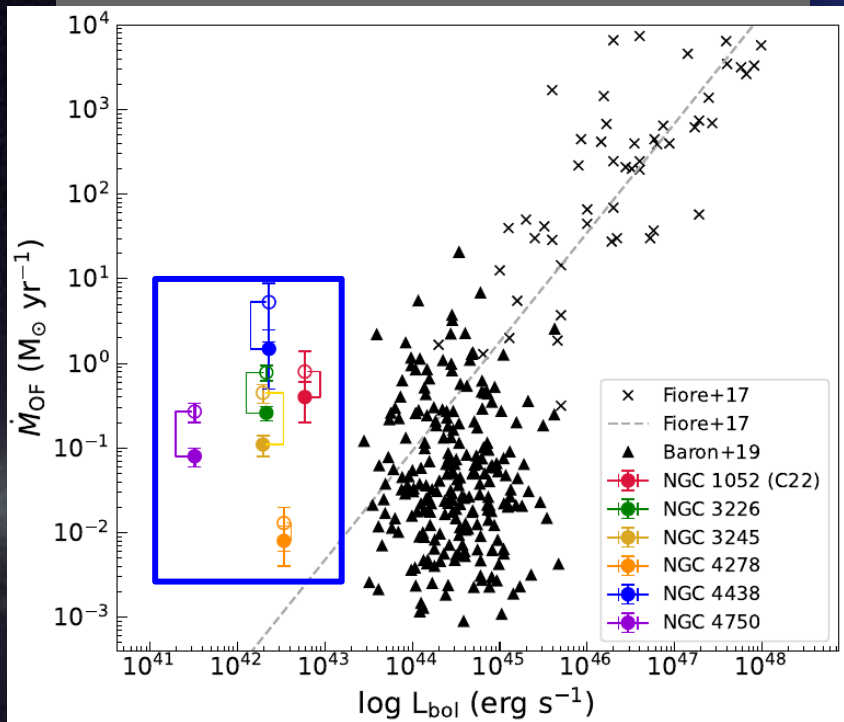
Ramos-Almeida et al. (2022)

Parecen estar presentes de manera **ubiqua** en todo tipo de AGNs.
(for a review see Veilleux et al. 2005)

Su potencia escala con la luminosidad del AGN
(e.g. Fluetsch et al. 2019)

Naturaleza **multi-longitud de onda**
(e.g. Ciccone et al. 2014, Fluetsch et al. 2021)

¿Por qué hay tanta dispersión en el M_{out} rate?



Hermosa Muñoz et al. (2024a)

Presentes incluso en los **AGNs de baja luminosidad**

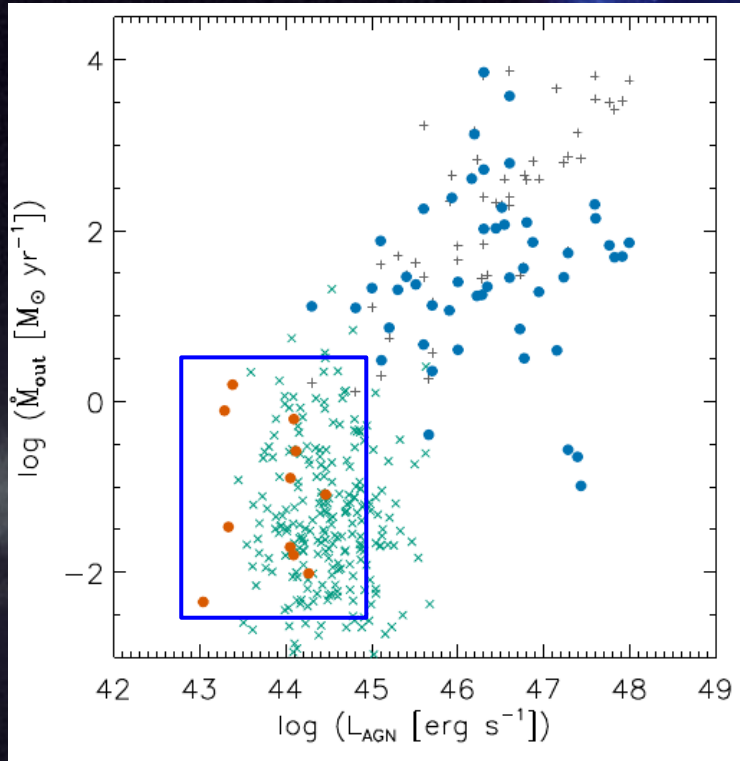
(Cazzoli+18, Hermosa Muñoz+22, +24)

No son capaces de **“apagar”** eficientemente a las galaxias anfitrionas (kinetic coupling efficiency < 0.01).

(Harrison+18, Venturi+21, Kukreti+23)

Dependencia con la geometría, densidad electrónica, velocidad máxima etc.

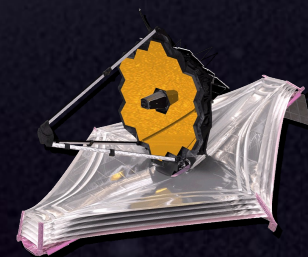
¿Por qué hay tanta dispersión en el \dot{M}_{out} rate?



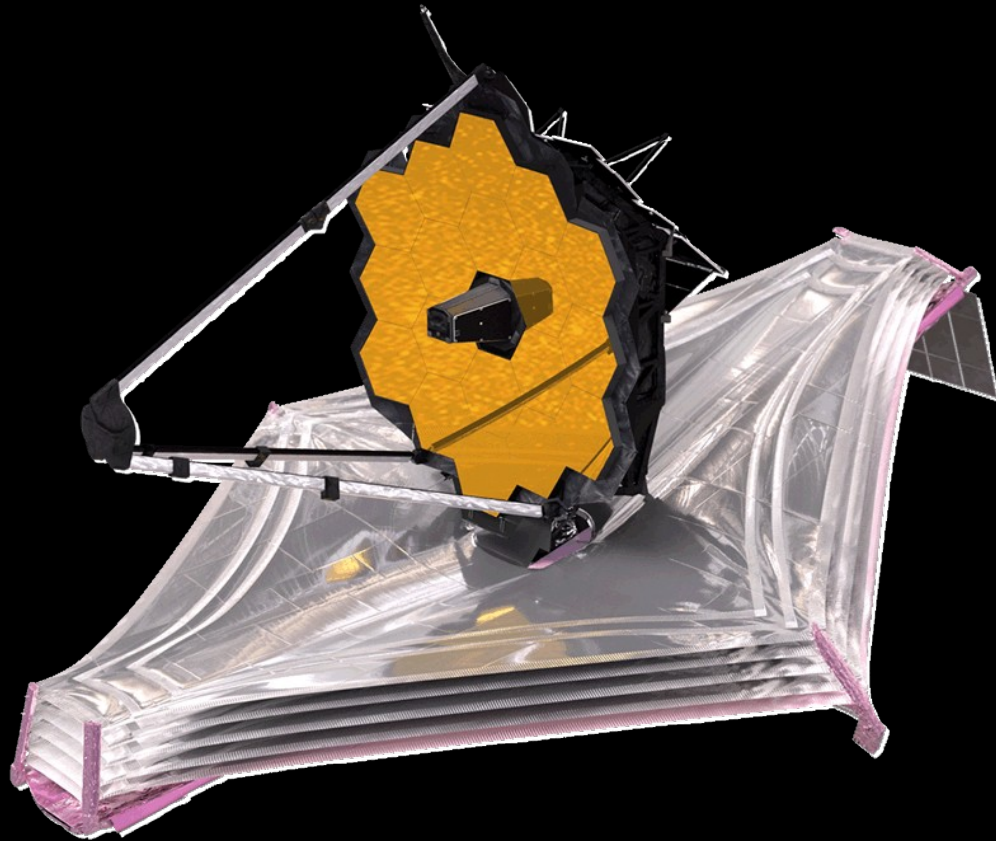
Davies et al. (2020)

Object	$\log L_{\text{AGN}}$ erg/s	$\log N_{\text{H}}$ cm^{-2}	$\log \dot{M}_{\text{out}}$ $\text{M}_{\odot} \text{yr}^{-1}$
NGC 5506	44.1	22.4	0.21
ESO 137-G034	43.4	24.3	0.52
NGC 5728	44.1	24.2	0.09
NGC 3081	44.1	23.9	0.04
NGC 7172	44.1	22.9	0.005
MCG-05-23-016	44.3	22.2	0.003

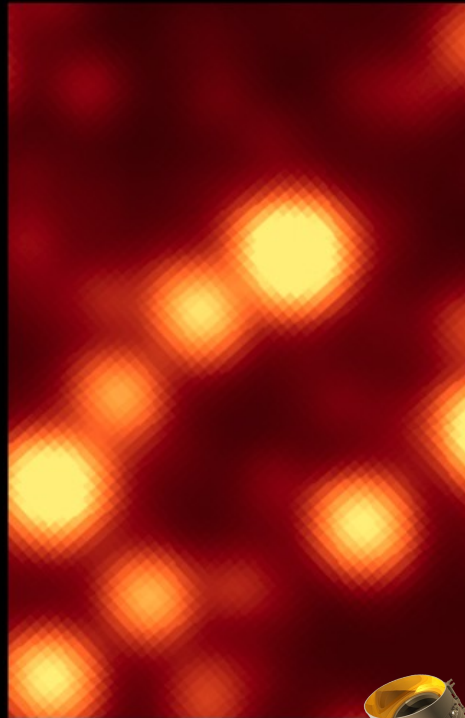
PI: T. Shimizu
PropID: 1670



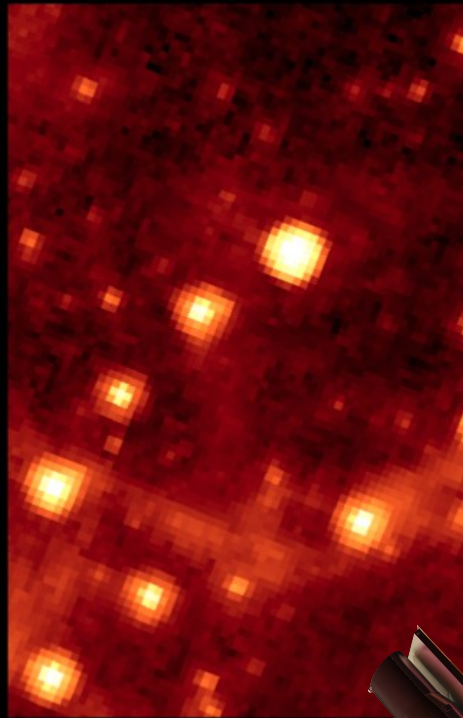
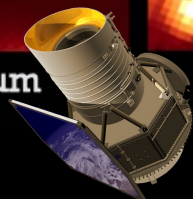
El Telescopio Espacial James Webb (JWST)



The Evolution of Infrared Space Telescopes



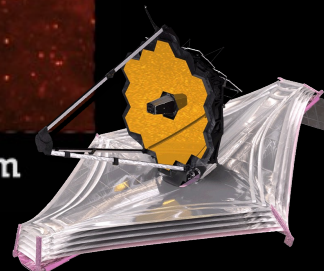
WISE W2 4.6 μm



Spitzer/IRAC 8.6 μm



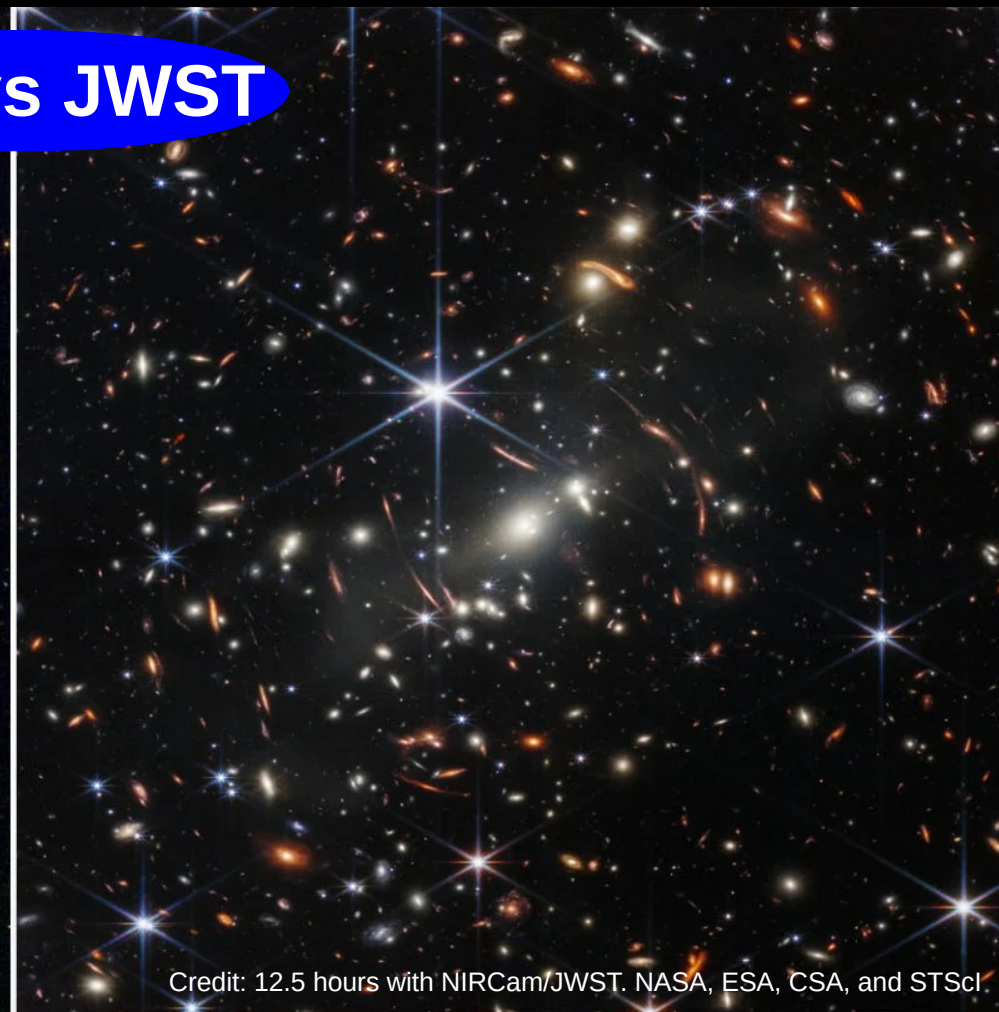
JWST/MIRI 7.7 μm



HST vs JWST



Credit: RELICS Treasury Program (GO 14096) NASA/ESA HST



Credit: 12.5 hours with NIRCam/JWST. NASA, ESA, CSA, and STScI

HST vs JWST

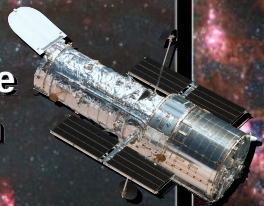


Credit: RELICS Treasury Program (GO 14096) NASA/ESA HST

Credit: 12.5 hours with NIRCam/JWST. NASA, ESA, CSA, and STScI

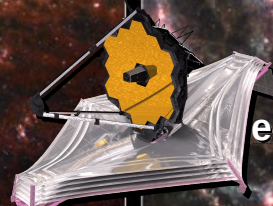
HST + JWST

**Estrellas y gas caliente
debido a la formación
estelar en los brazos**



Hubble / Optical

**Polvo calentado por
estrellas jóvenes y emisión
de moléculas orgánicas**



Webb / Infrared

Hubble & Webb

ESO 428-G14

HST

NGC 5728

NGC 7172

NGC 3227

NGC 5135

NGC 3081

NGC 2992

NGC 4388

Rosario+2024 (in prep)

ESO 428-G14

JWST

NGC 5728

NGC 7172

NGC 3227

NGC 5135

NGC 3081

NGC 2992

NGC 4388

Rosario+2024 (in prep)

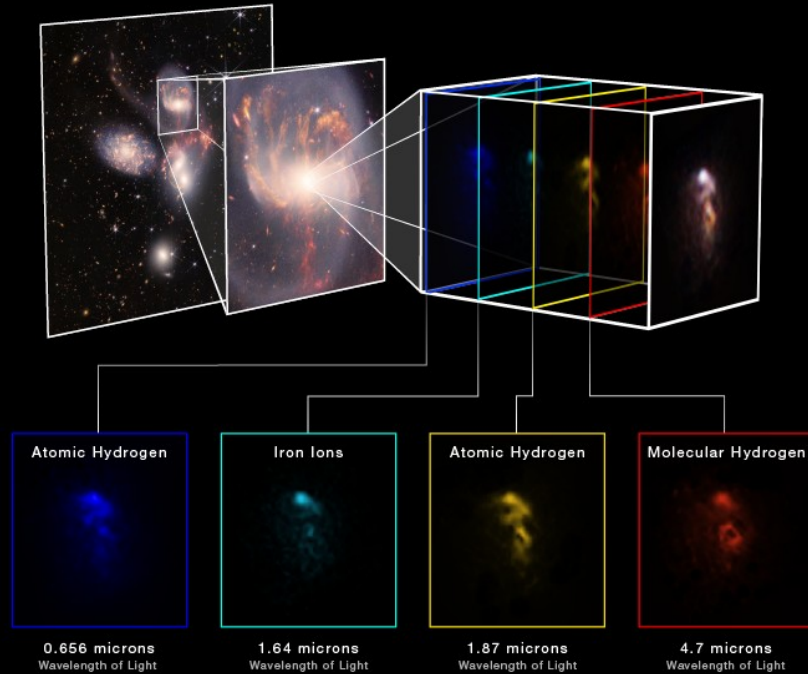
Espectroscopía de campo integral (IFS)

INTERACTING GALAXIES | STEPHAN'S QUINTET

COMPOSITION OF GAS AROUND ACTIVE BLACK HOLE

NIRCam and MIRI Imaging

NIRSpec IFU Spectroscopy



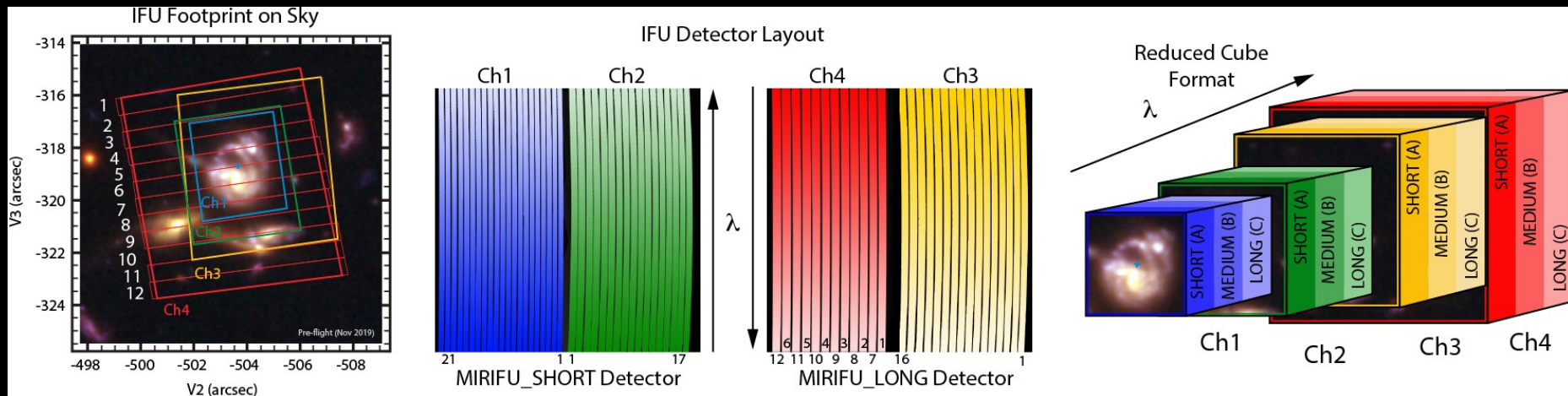
WEBB
SPACE TELESCOPE

Cubos con 2 dimensiones espaciales y una espectral





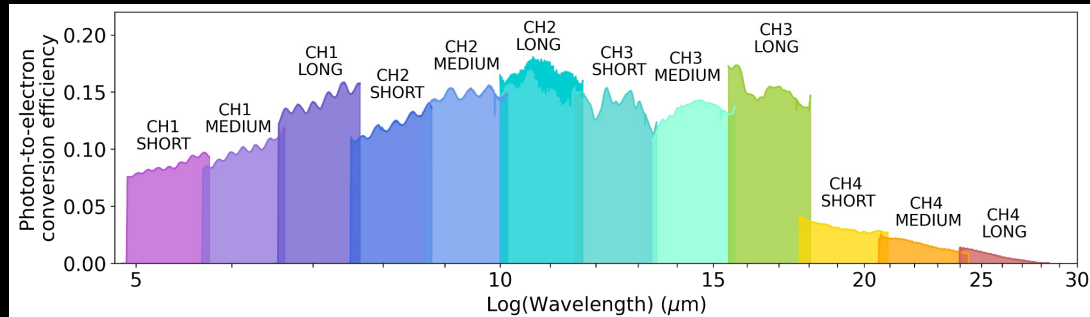
JWST data: IFS with MIRI/MRS



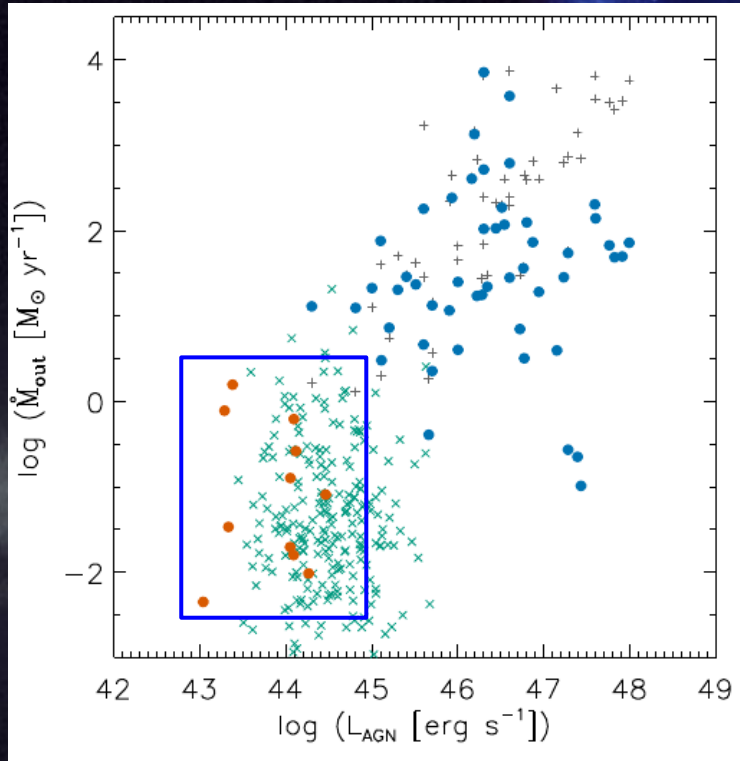
5 – 28 μm

R ~1550 - 3250

FoV: ~4" to ~8"



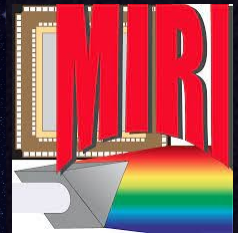
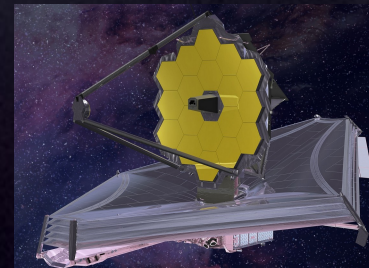
¿Por qué hay tanta dispersión en el \dot{M}_{out} rate?



Davies et al. (2020)

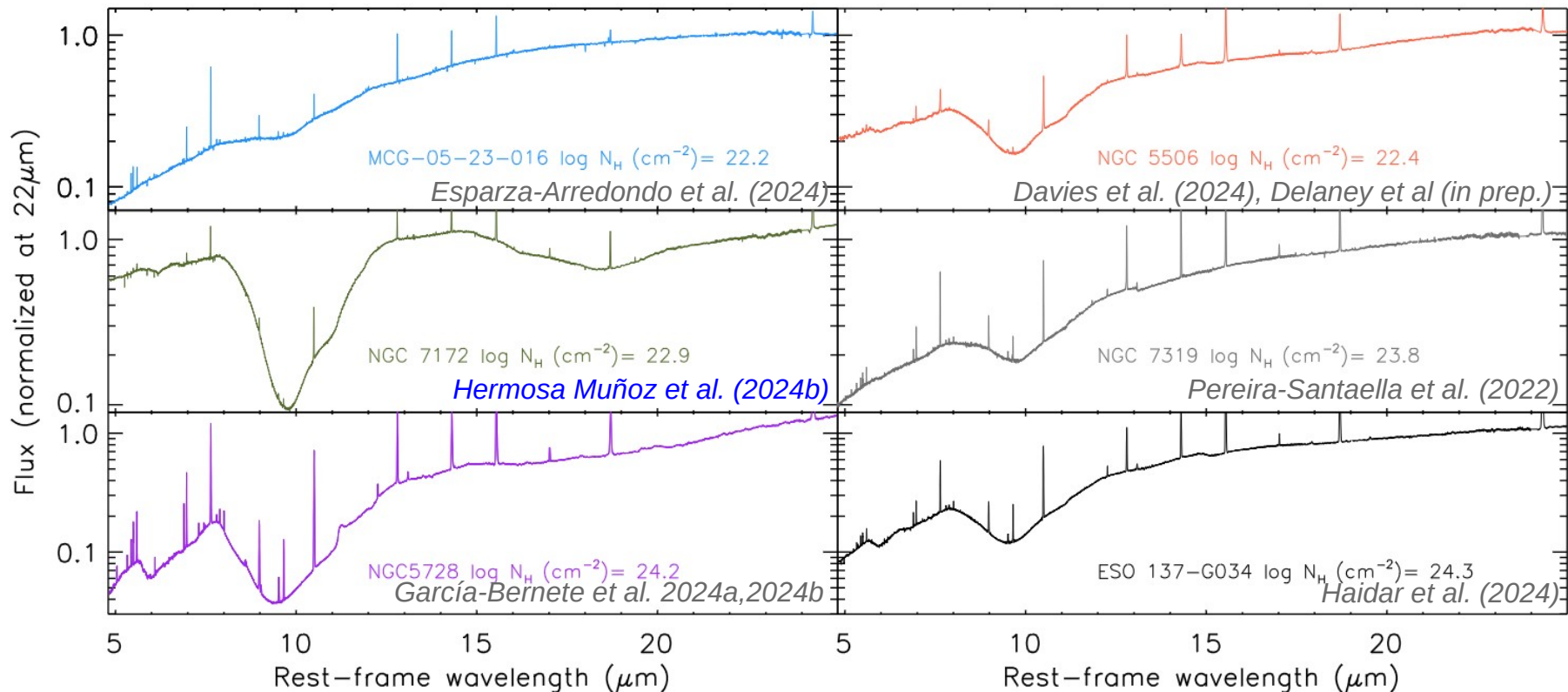
Object	$\log L_{\text{AGN}}$ erg/s	$\log N_{\text{H}}$ cm^{-2}	$\log \dot{M}_{\text{out}}$ $M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
NGC 5506	44.1	22.4	0.21
ESO 137-G034	43.4	24.3	0.52
NGC 5728	44.1	24.2	0.09
NGC 3081	44.1	23.9	0.04
NGC 7172	44.1	22.9	0.005
MCG-05-23-016	44.3	22.2	0.003

PI: T. Shimizu
PropID: 1670

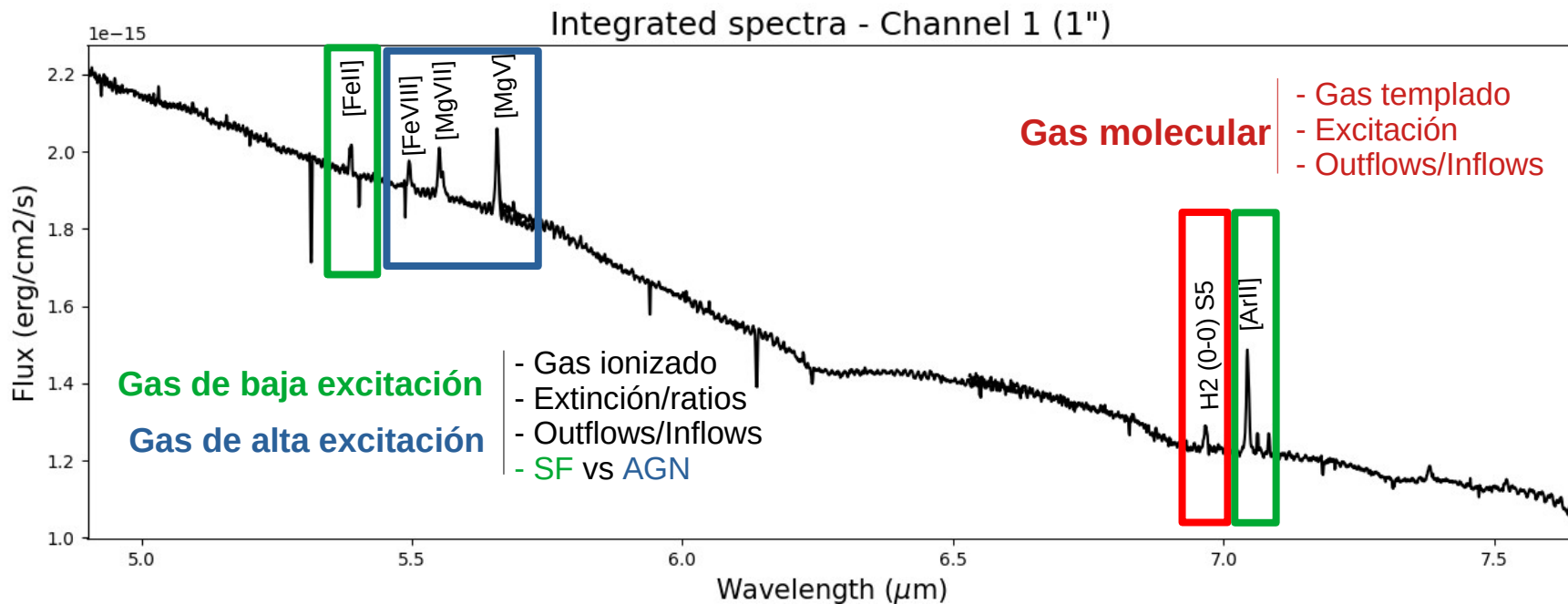


JWST/MIRI GATOS: Espectros nucleares integrados

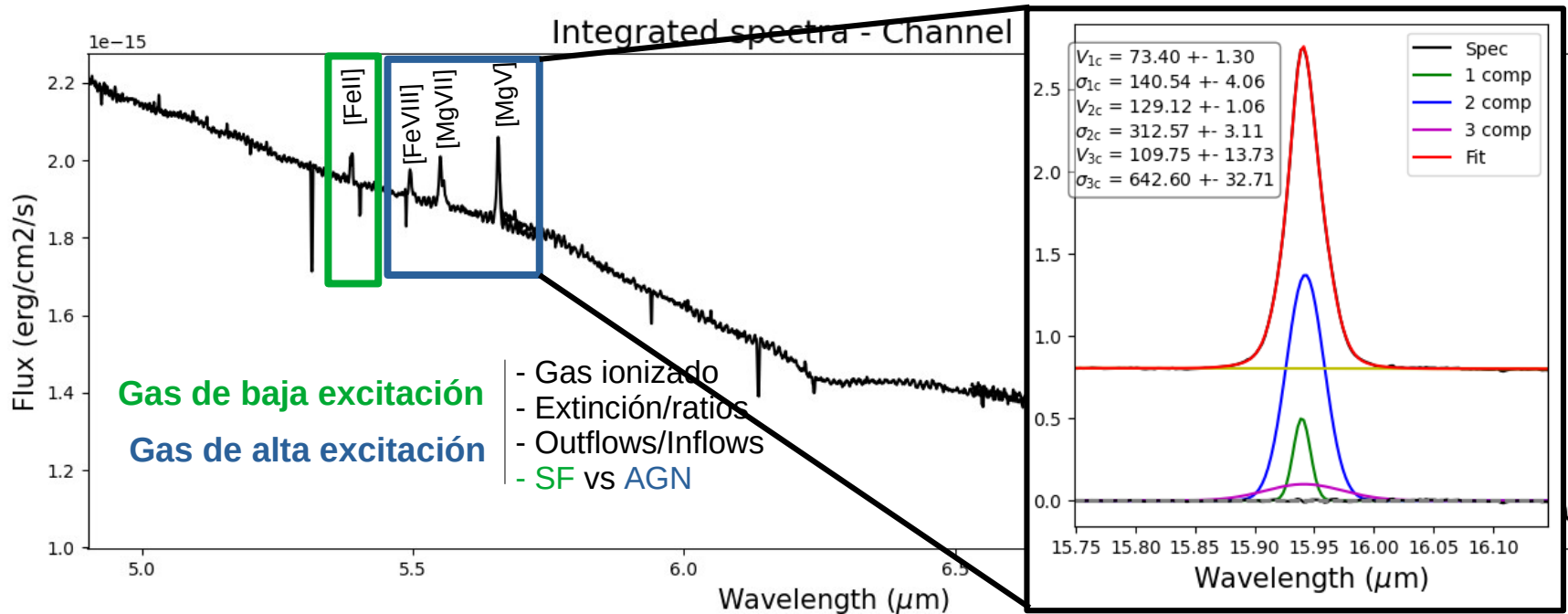
García-Bernete et al. (2024a)



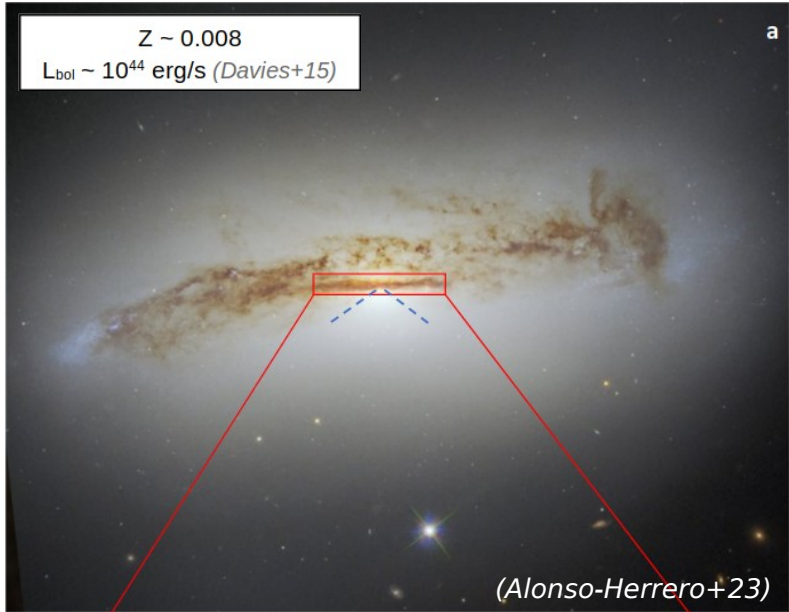
JWST data: IFS with MIRI/MRS



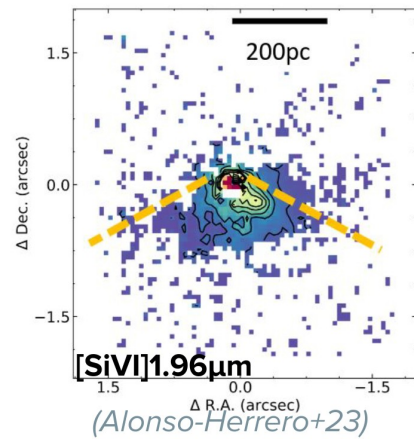
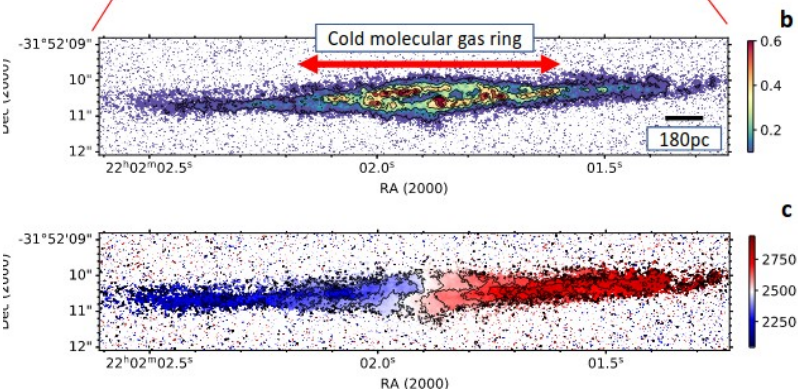
JWST data: IFS with MIRI/MRS



MIRI/MRS: NGC 7172



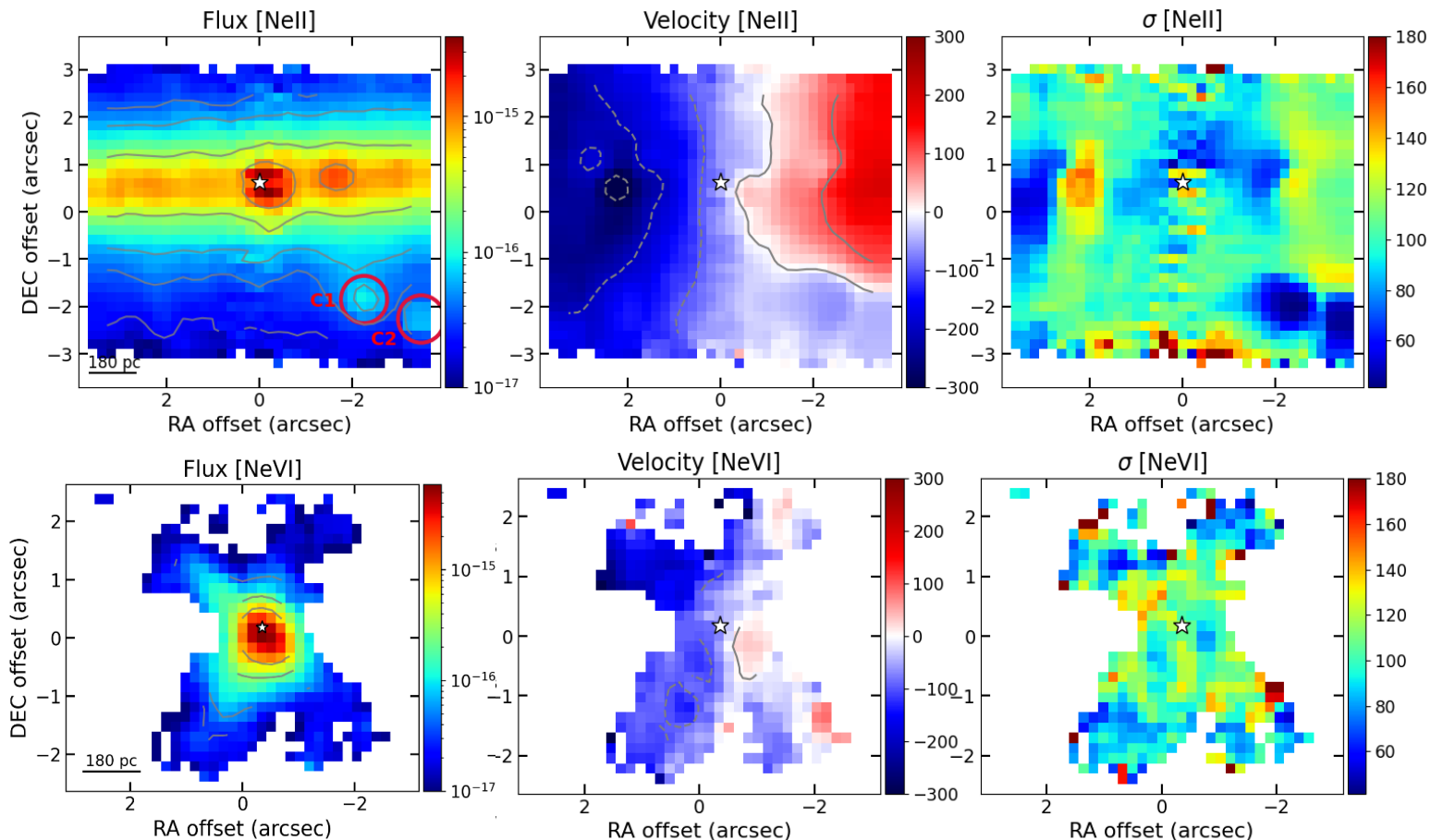
- Seyfert-2, anillo circumnuclear, banda de polvo.
- Cono de ionización ($5'' \sim 900 \text{ pc}$) detectado con datos ópticos (Thomas+17).



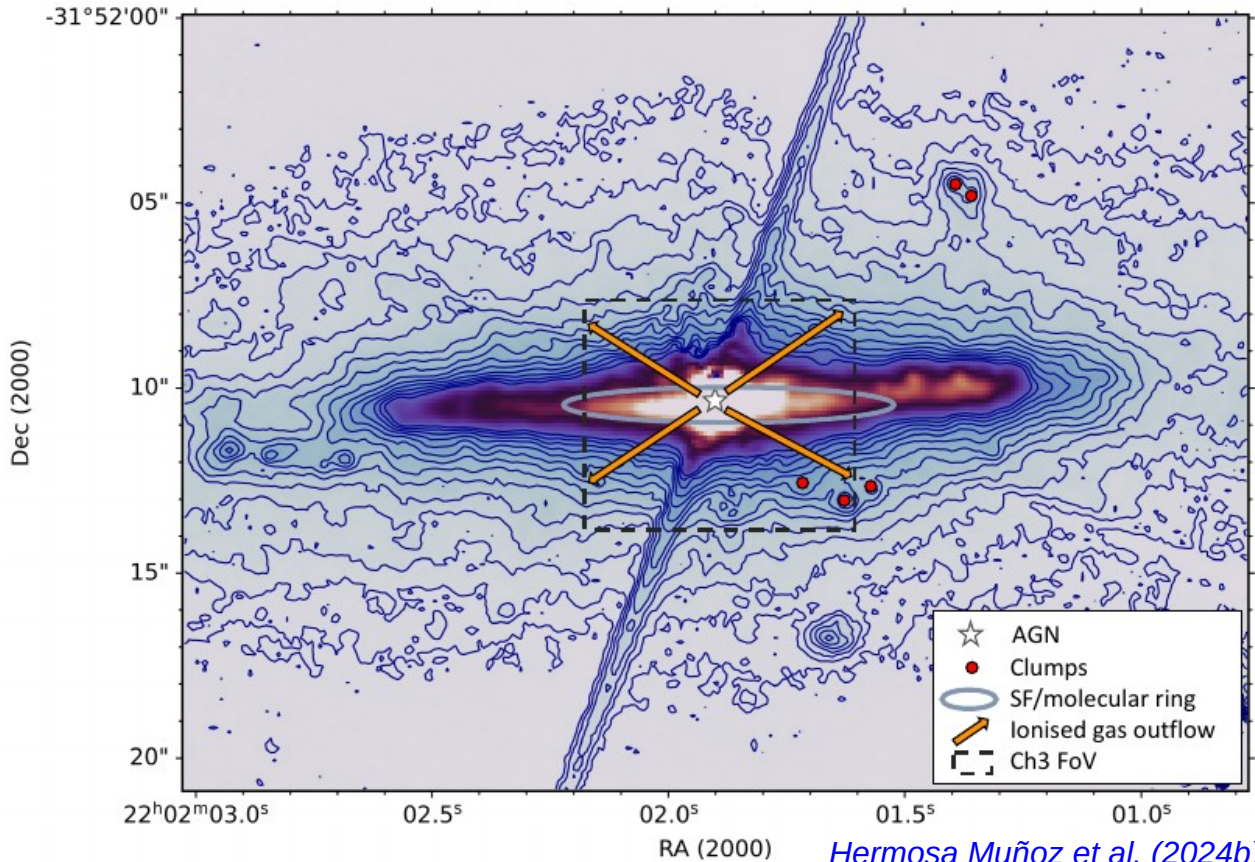
- Outflow de gas ionizado con $\dot{M}_{\text{out}} \sim 0.005 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (Davies+20).
- Outflow de gas molecular frío detectado en CO(3-2) con $\dot{M}_{\text{out}} \sim 40 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ (Alonso-Herrero+23).

JWST/MIRI MRS: *mapas cinemáticos*

Hermosa Muñoz et al. (2024b)



NGC 7172: *un resumen*



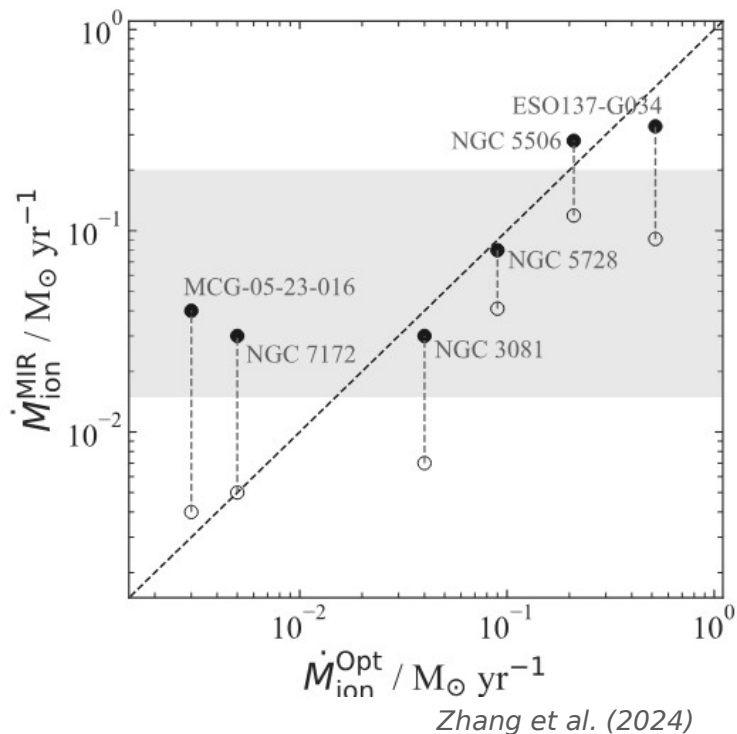
Hermosa Muñoz et al. (2024b)

Las imágenes de MIRI revelan varias regiones de SF
(Rosario et al. in prep.)

Outflow de gas ionizado expandiéndose → **provoca formación estelar?**

Parte norte del outflow no detectada antes por el polvo → ¿estimación **baja** del **mass outflow rate?**

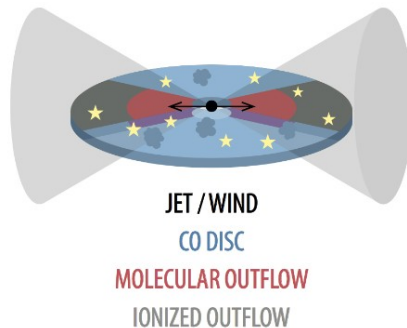
\dot{M}_{out} rate óptico vs mid-IR



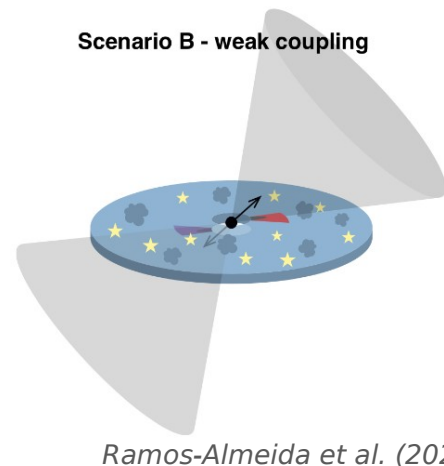
Diferencia de 1 orden de magnitud entre las determinaciones del mass outflow rate (Zhang et al. 2024)

NGC 7172 es todavía uno de los objetos con el ratio más bajo (0.03 M/yr) \rightarrow ¿caso de acoplamiento débil?

Scenario A - strong coupling



Scenario B - weak coupling

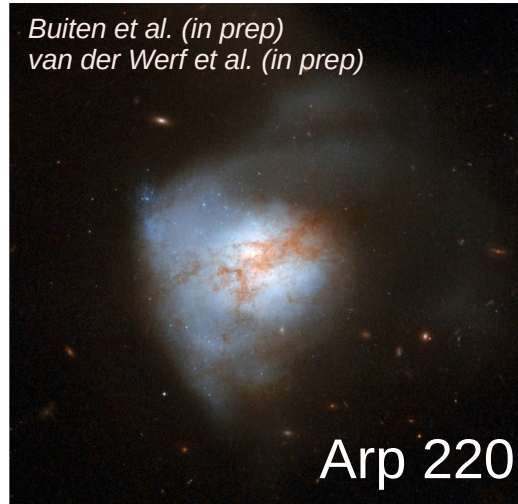


MICONIC: *Mid-Infrared Characterization Of Nearby Iconic galaxy Centers*

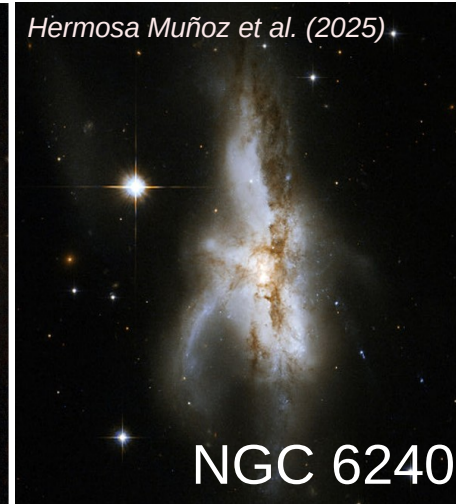
MIRI GTO program for nearby galaxies



Credit: ESO



Credit: NASA/ESA HST



Credit: NASA/ESA HST



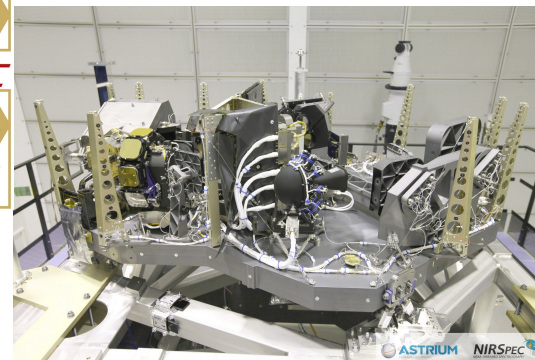
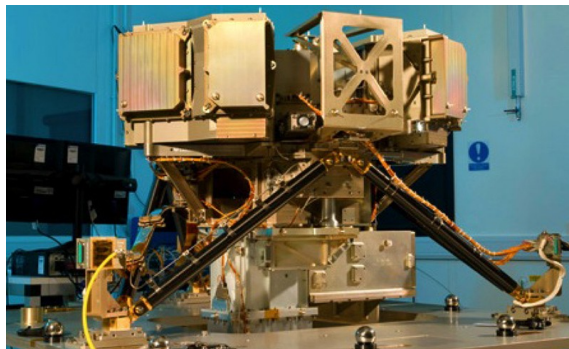
Credit: NASA/ESA HST



+ region near to the Galactic Centre & SBS0335-52

Participación española en el JWST

- Proyecto Participación Española en el Telescopio Espacial James Webb. Actividades Previas al Lanzamiento, Caracterización en Órbita y Preparación de Programas Científicos de Tiempo Garantizado (Agencia Estatal de Investigación, PID2019-106280GB-I00. 2020-2022).
- Contrato Mid-IR Instrument (MIRI) for the James Webb Space Telescope. Science and Technology Facilities Council (STFC, UK. MIRI2015).
- Contrato NIRSpec Calibration and Commissioning Support Tasks. IFS activities. (Agencia Espacial Europea, ESA RFP/3-15967/19).
- Proyecto Mid-IR JWST Studies of Galaxies in the Early Universe. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC, ILINK-B2018).

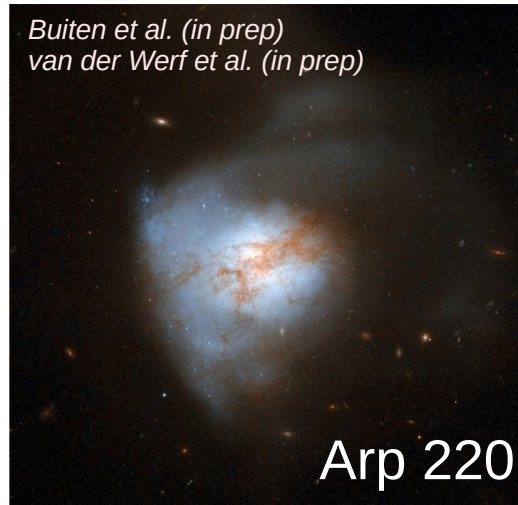


MICONIC: *Mid-Infrared Characterization Of Nearby Iconic galaxy Centers*

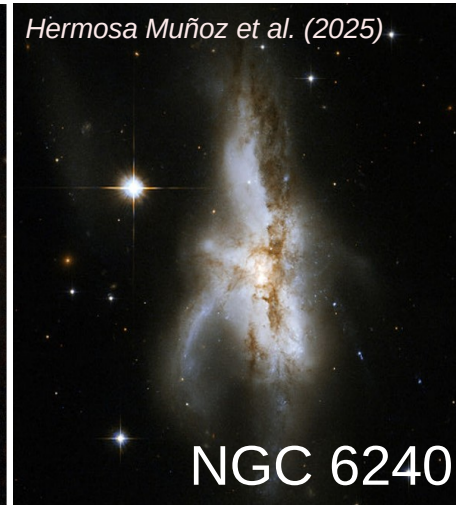
MIRI GTO program for nearby galaxies



Credit: ESO



Credit: NASA/ESA HST



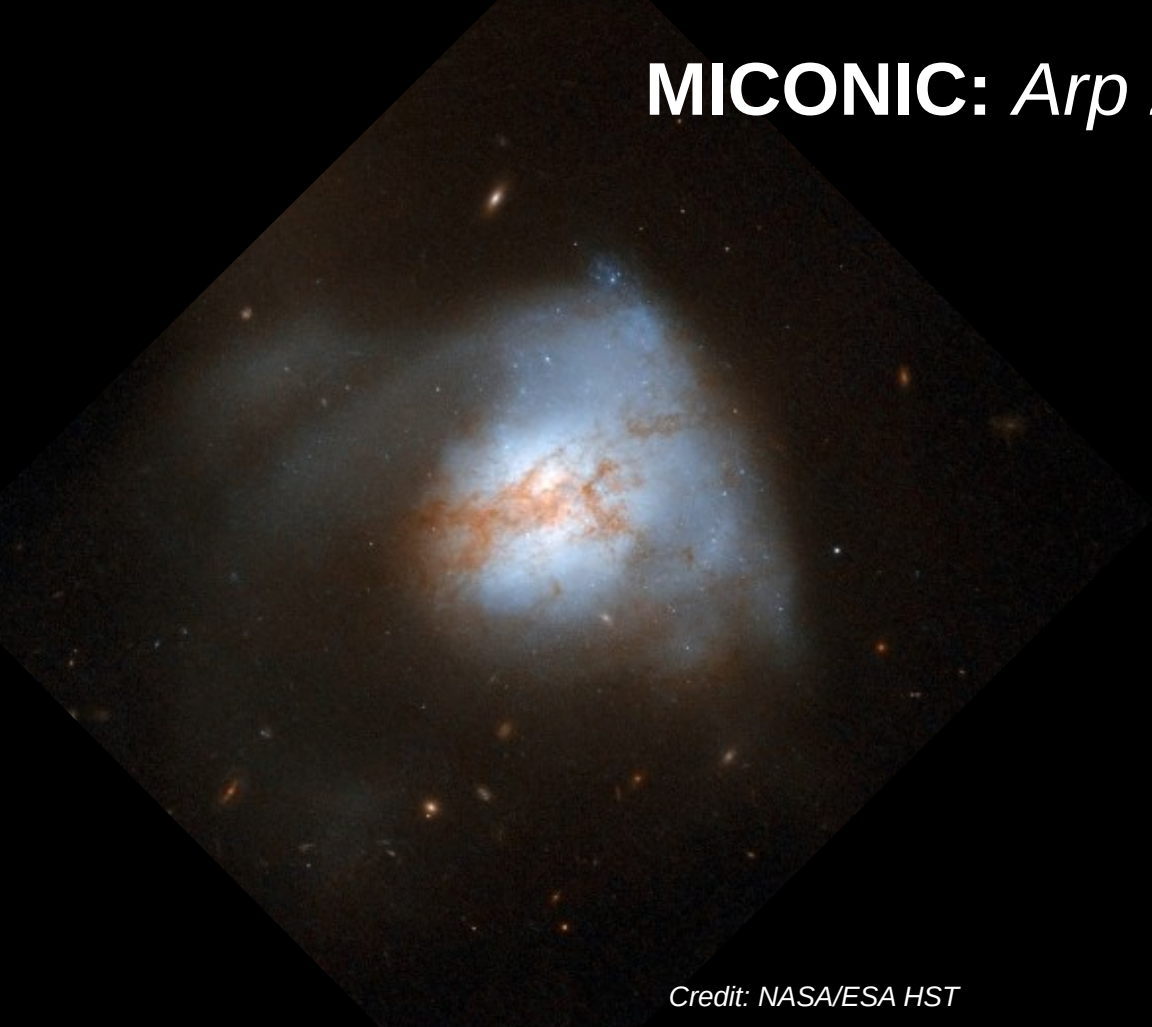
Credit: NASA/ESA HST



Credit: NASA/ESA HST

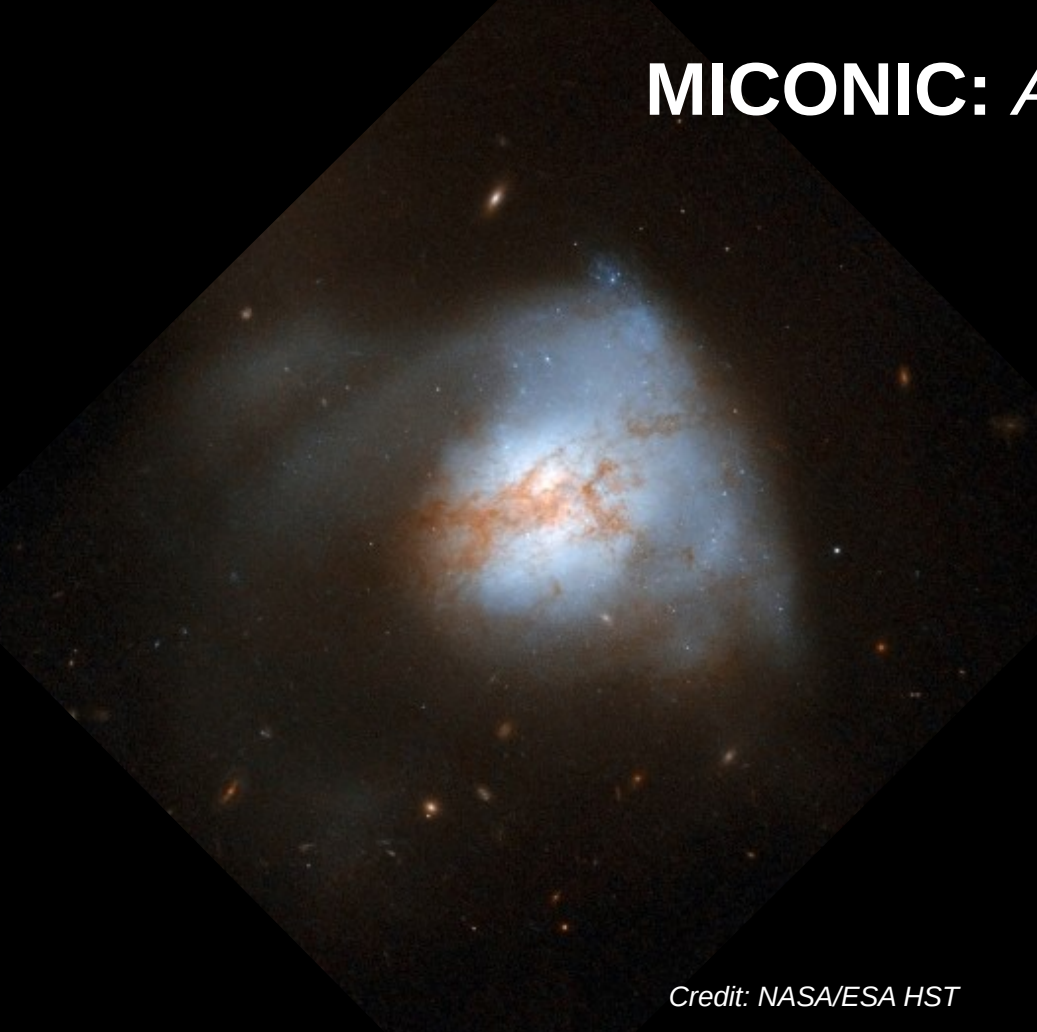
+ region near to the Galactic Centre & SBS0335-52

MICONIC: *Arp 220*

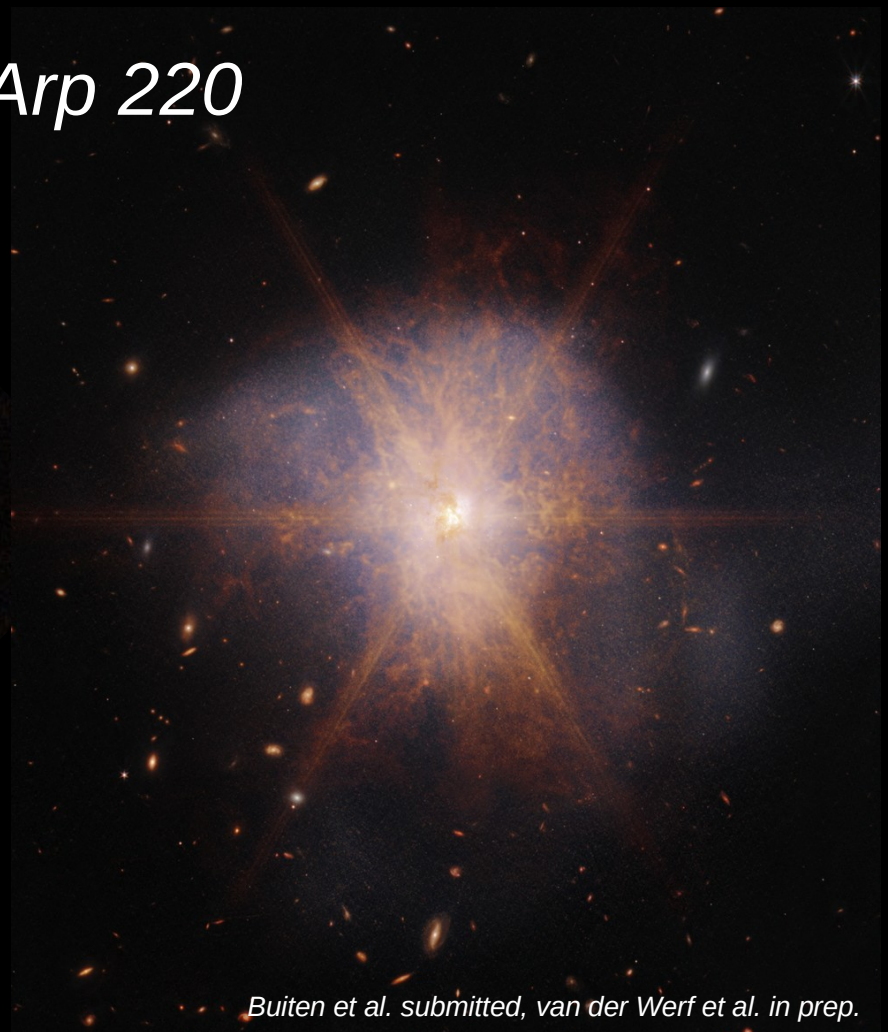


Credit: NASA/ESA HST

MICONIC: *Arp 220*



Credit: NASA/ESA HST



Buiten et al. submitted, van der Werf et al. in prep.

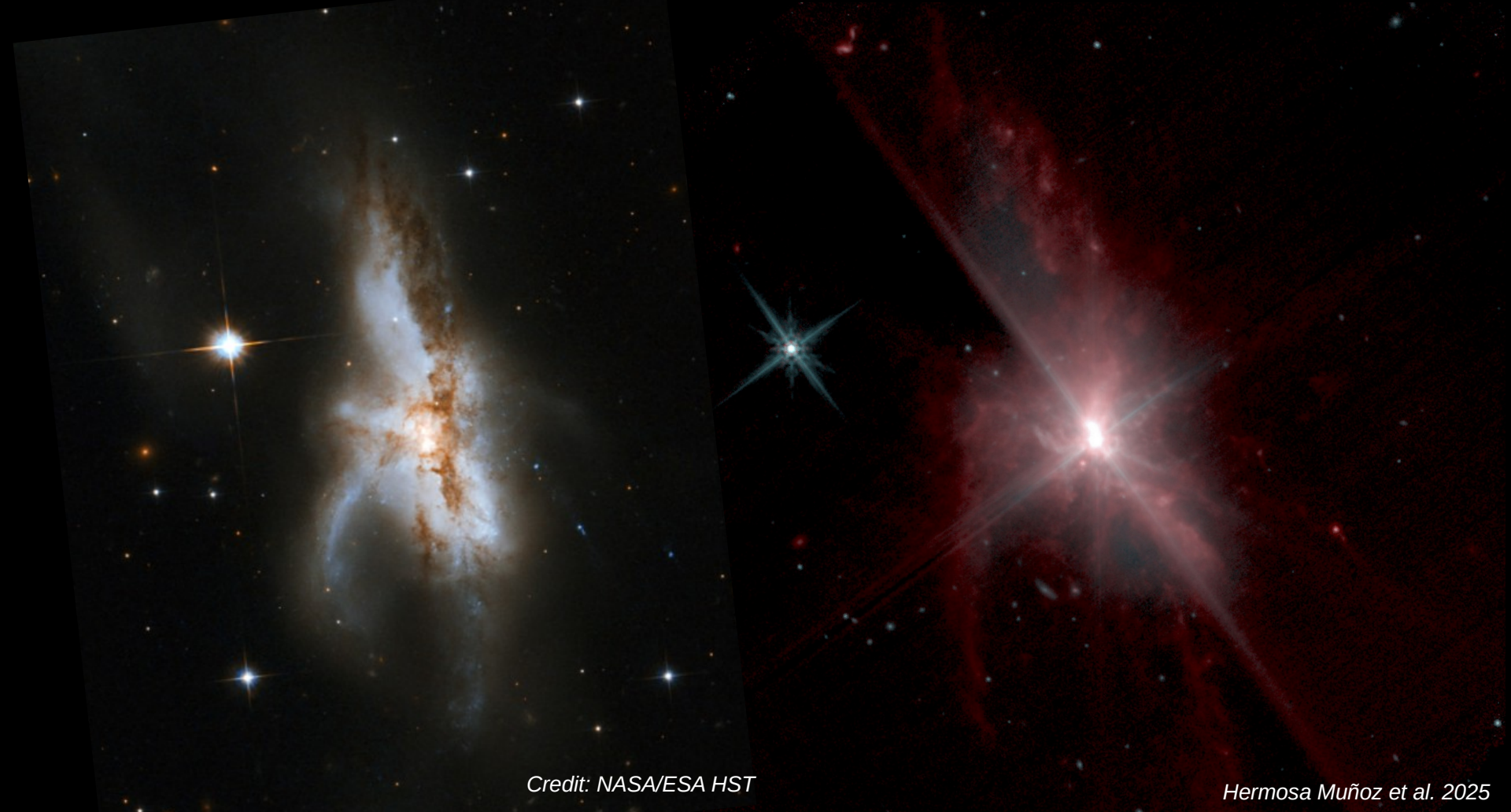
MICONIC: NGC 6240

$Z \sim 0.0244$, $D \sim 111$ Mpc; $1'' \sim 526$ pc
Dual AGN: type-2 Seyfert & LINER

Observed: 14th August 2023
GTO program 1265

Credit: NASA/ESA HST

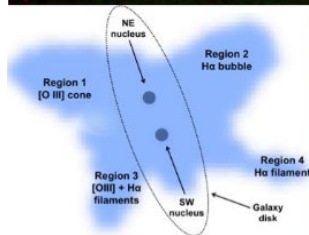
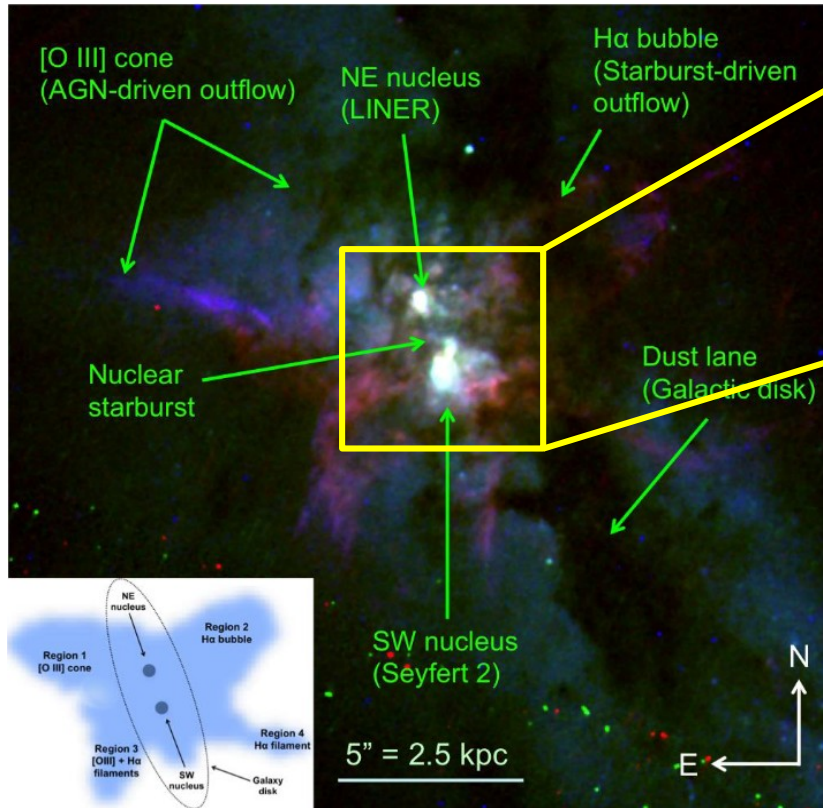
Hermosa Muñoz et al. 2025



Credit: NASA/ESA HST

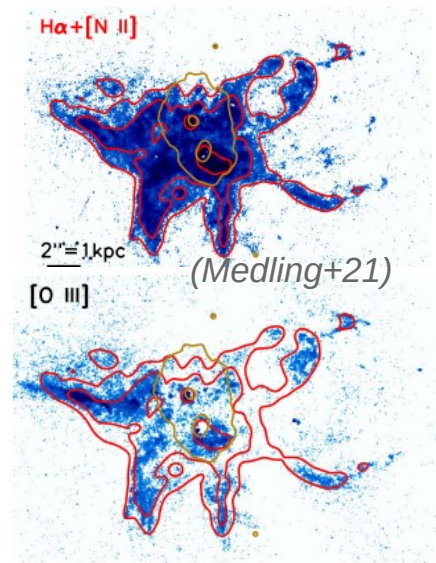
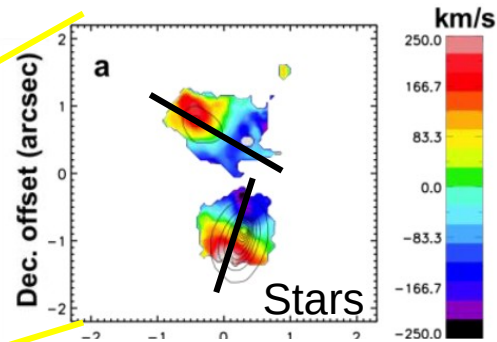
Hermosa Muñoz et al. 2025

MICONIC: NGC 6240



(Müller-Sánchez+18)

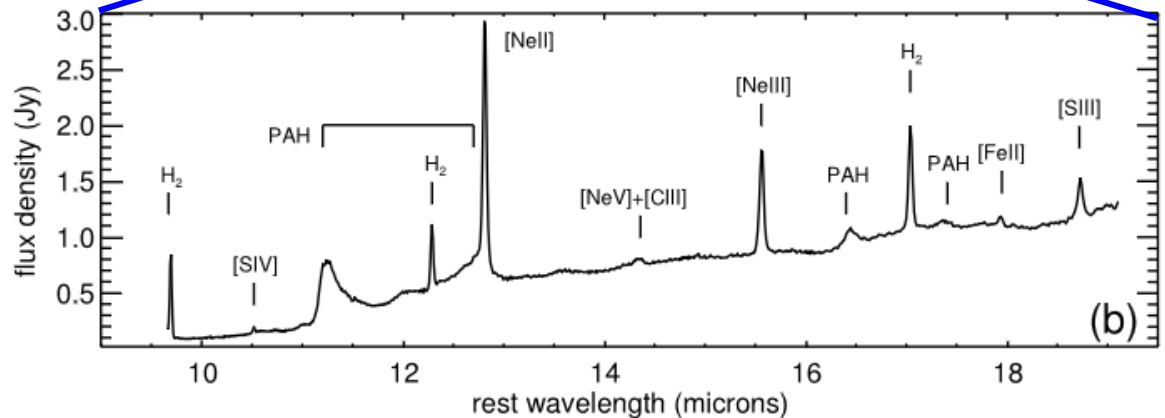
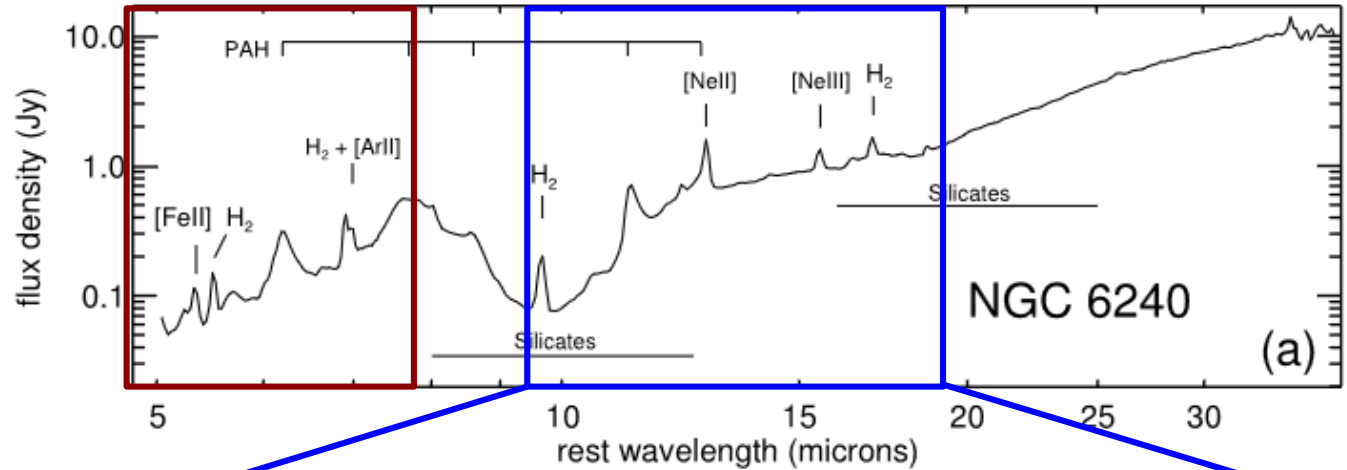
LIRG – $\log(L_{\text{IR}}/L_{\text{sun}}) = 11.93$ (Kim+13)



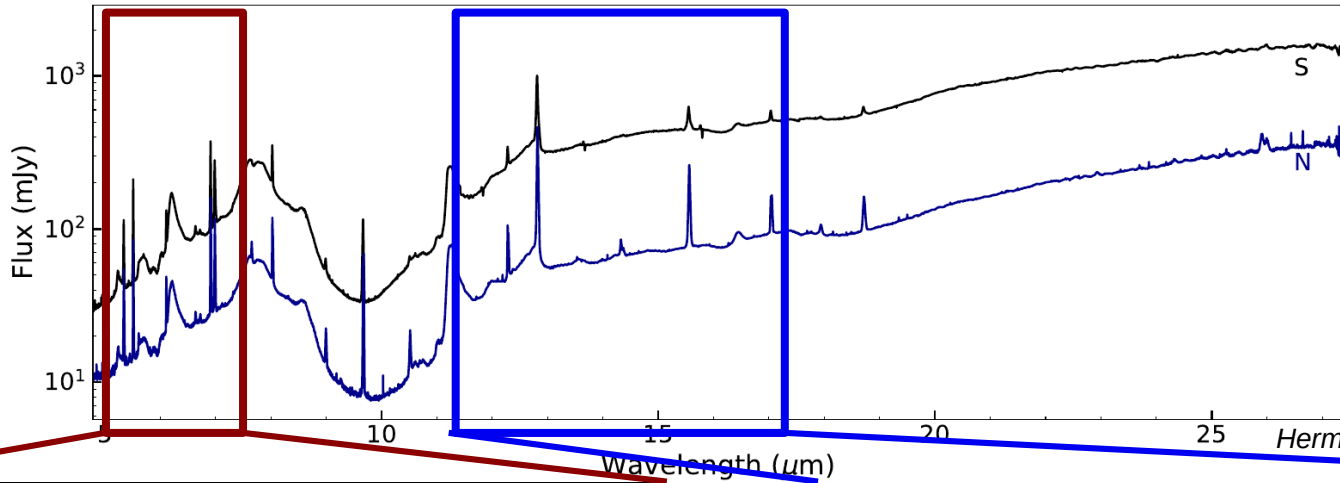
- AGN doble separados ~ 0.7 kpc ($L_{\text{bol}} = 2.6 \times 10^{44}$ erg s $^{-1}$ y 8×10^{44} erg s $^{-1}$, Müller-Sánchez+18), y un starburst central (hace 6-9 Myr Tezca+10, Yoshida+16; SFR > 100M $_{\text{sun}}$ /yr, Howell+10)
- Outflows de gas ionizado producidos por el AGN ($M_{\text{out}} \sim 75 M_{\text{sun}}/\text{yr}$) y el starburst ($M_{\text{out}} \sim 30 M_{\text{sun}}/\text{yr}$) (Müller-Sánchez+18) & outflow de gas molecular, CO (Cicone+18).

Espectro de Spitzer/IRS: *Armus*+2006

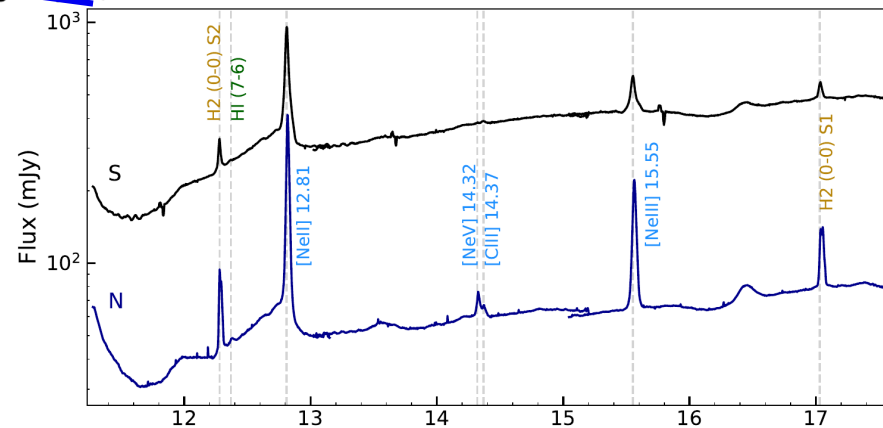
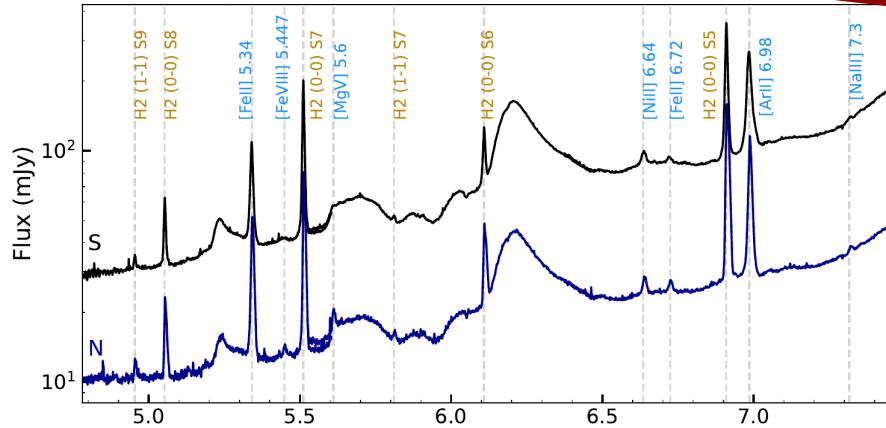
Rendija con anchura de 3.6" →
ambos núcleos incluidos



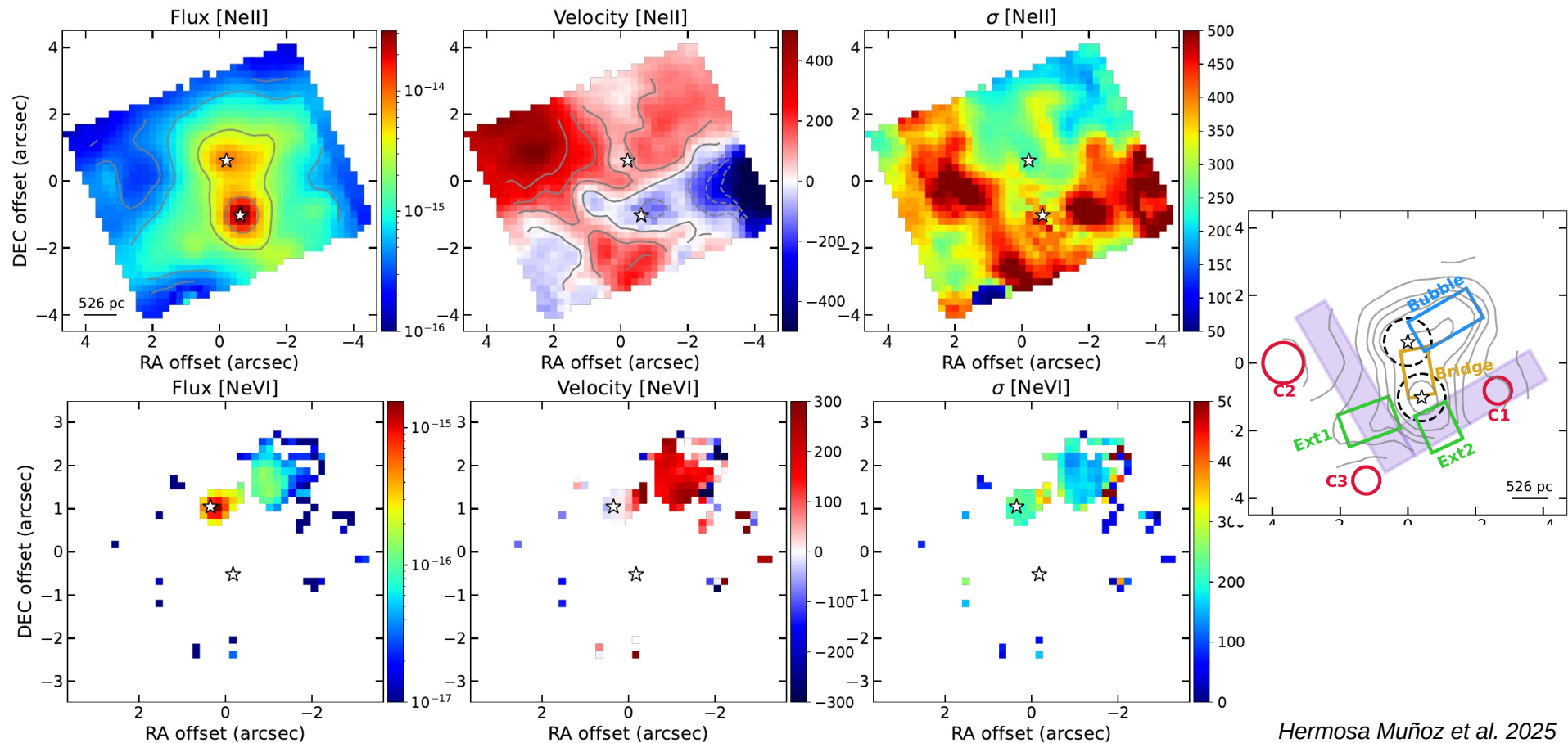
Espectro integrado de MIRI/MRS para cada núcleo ($r = 0.7''$)



Hermosa Muñoz et al. 2025



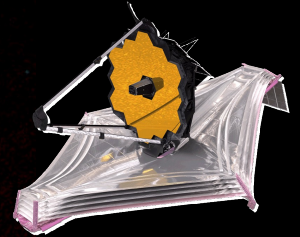
NGC 6240: mapas cinemáticos



Hermosa Muñoz et al. 2025

Resumen y “take away messages”

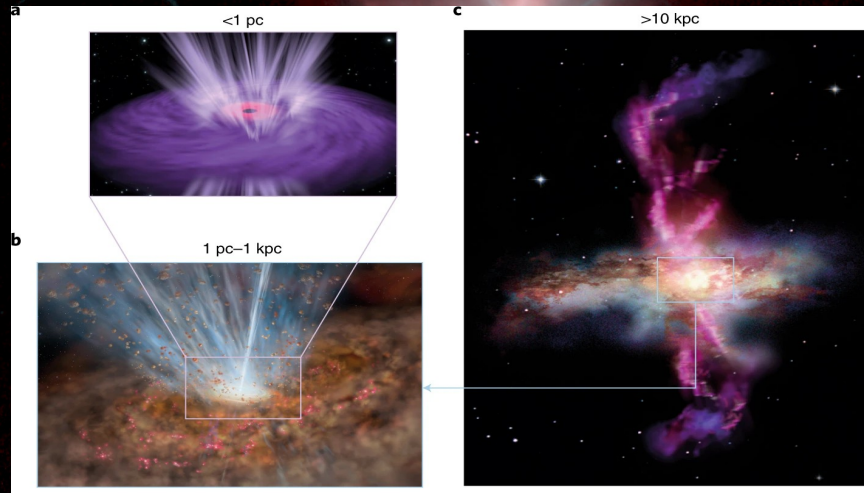
El JWST está permitiendo observar objetos cercanos en el infrarrojo medio con una resolución espectral y espacial sin precedentes.



Resumen y “take away messages”

El JWST está permitiendo observar objetos cercanos en el infrarrojo medio con una resolución espectral y espacial sin precedentes.

Los procesos de **retroalimentación** (i.e. outflows) potencialmente alteran la evolución de la galaxia anfitriona → es necesaria una caracterización **multifrecuencia y multiescala** de los procesos físicos.



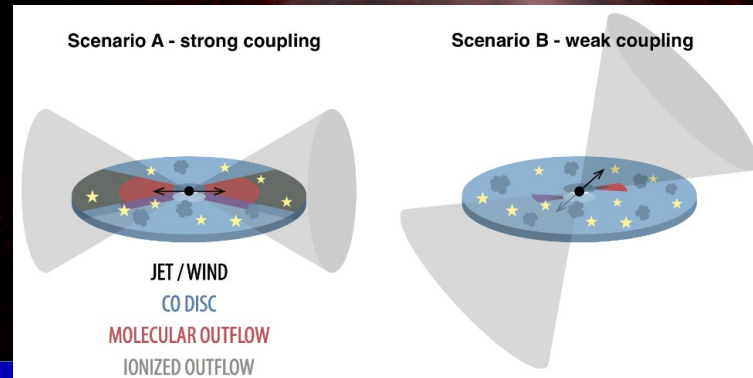
Cicone+2018

Resumen y “take away messages”

El JWST está permitiendo observar objetos cercanos en el infrarrojo medio con una resolución espectral y espacial sin precedentes.

Los procesos de **retroalimentación** (i.e. outflows) potencialmente alteran la evolución de la galaxia anfitriona → es necesaria una caracterización **multifrecuencia y multiescala** de los procesos físicos.

Aún con estudios sistemáticos, es necesario conocer las características de las galaxias individuales → la geometría, densidad electrónica, estado evolutivo, y composición de las galaxias son imprescindibles.



Ramos-Almeida et al. (2022)

Resumen y “take away messages”

El JWST está permitiendo observar objetos cercanos en el infrarrojo medio con una resolución espectral y espacial sin precedentes.

Los procesos de **retroalimentación** (i.e. outflows) potencialmente alteran la evolución de la galaxia anfitriona → es necesaria una caracterización **multifrecuencia y multiescala** de los procesos físicos.

Aún con estudios sistemáticos, es necesario conocer las características de las galaxias individuales → la geometría, densidad electrónica, estado evolutivo, y composición de las galaxias son imprescindibles.

¡Muchas gracias!