



Introducción a la Astrofísica 2022

# Clase 1

Sebastián Pérez  
Departamento de Física USACH

# Introducción a la Astrofísica 2022

El objetivo es entregar una **pincelada completa** de lo que es la astrofísica moderna como disciplina; sin olvidar su historia y pre-historia.

## Programa del curso

0. Charla de presentación sobre investigación en astrofísica
1. ¿Qué es la astrofísica, a qué se dedica y cómo se hace?
2. El zoológico astronómico: ¿Qué hay allá afuera?
3. Mensajeros del universo
4. Instrumentos para leer el cosmos.
5. Ejemplos de problemas astrofísicos.

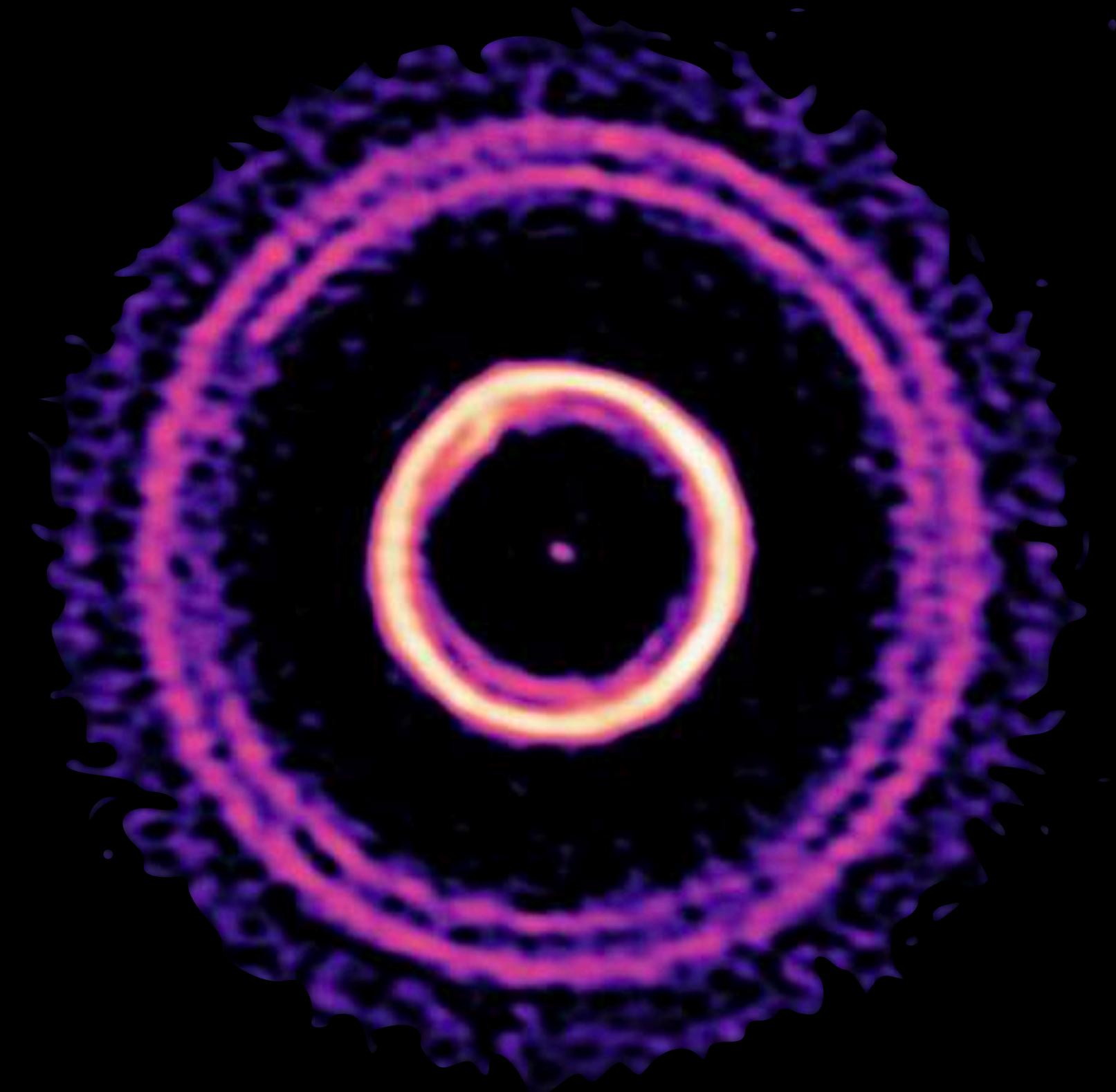
## Bibliografía (tentativa)

- James Binney & Michael Merrifield, Galactic Astronomy  
B. W. Carroll & D. A. Ostlie, An introduction to modern astrophysics  
Frank H. Shu, The physical universe. An introduction to Astronomy

# Reescribiendo la historia de cómo se forman los planetas

¿Qué hemos aprendido en los últimos 10 años?

¿Cuáles son los avances impulsados por astrónomas/os en Chile?



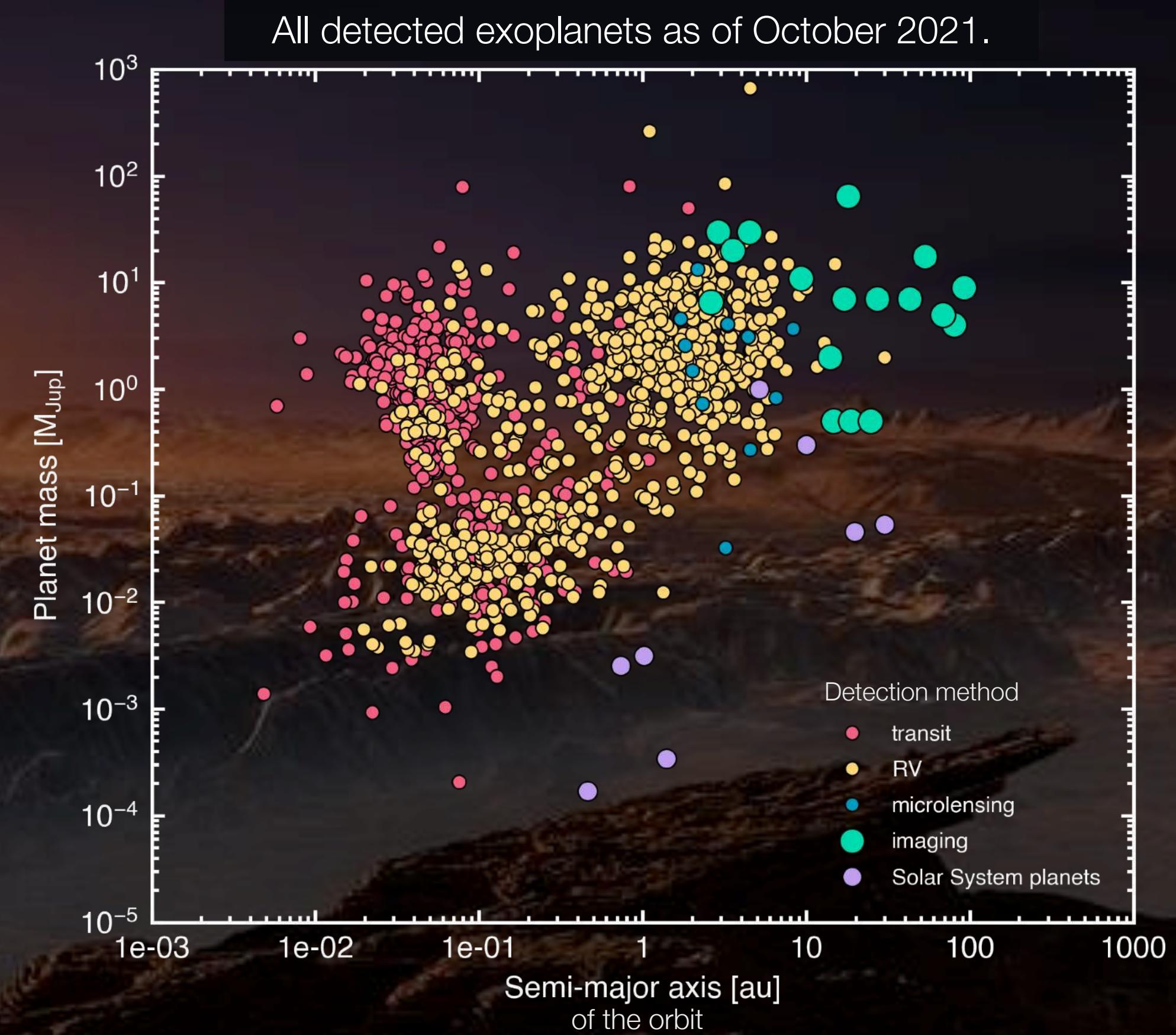
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

CIRAS |

CENTER FOR  
INTERDISCIPLINARY  
RESEARCH IN ASTROPHYSICS  
AND SPACE SCIENCES

**Si bien se han descubierto miles de exoplaneta** (planetas fuera del Sistema Solar), **aún no podemos explicar sus orígenes.**

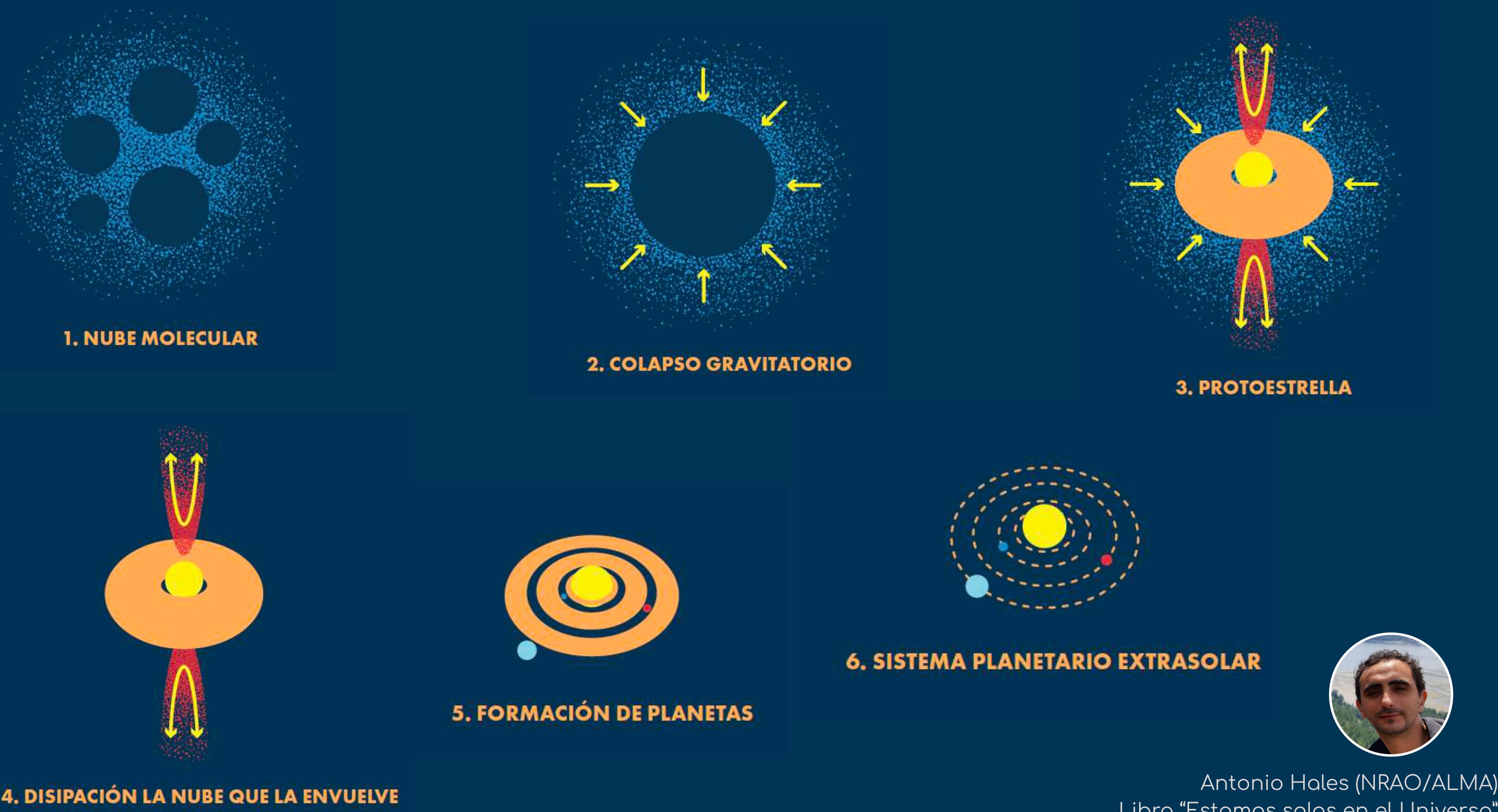
Podemos ser testigos de la formación de un planeta?





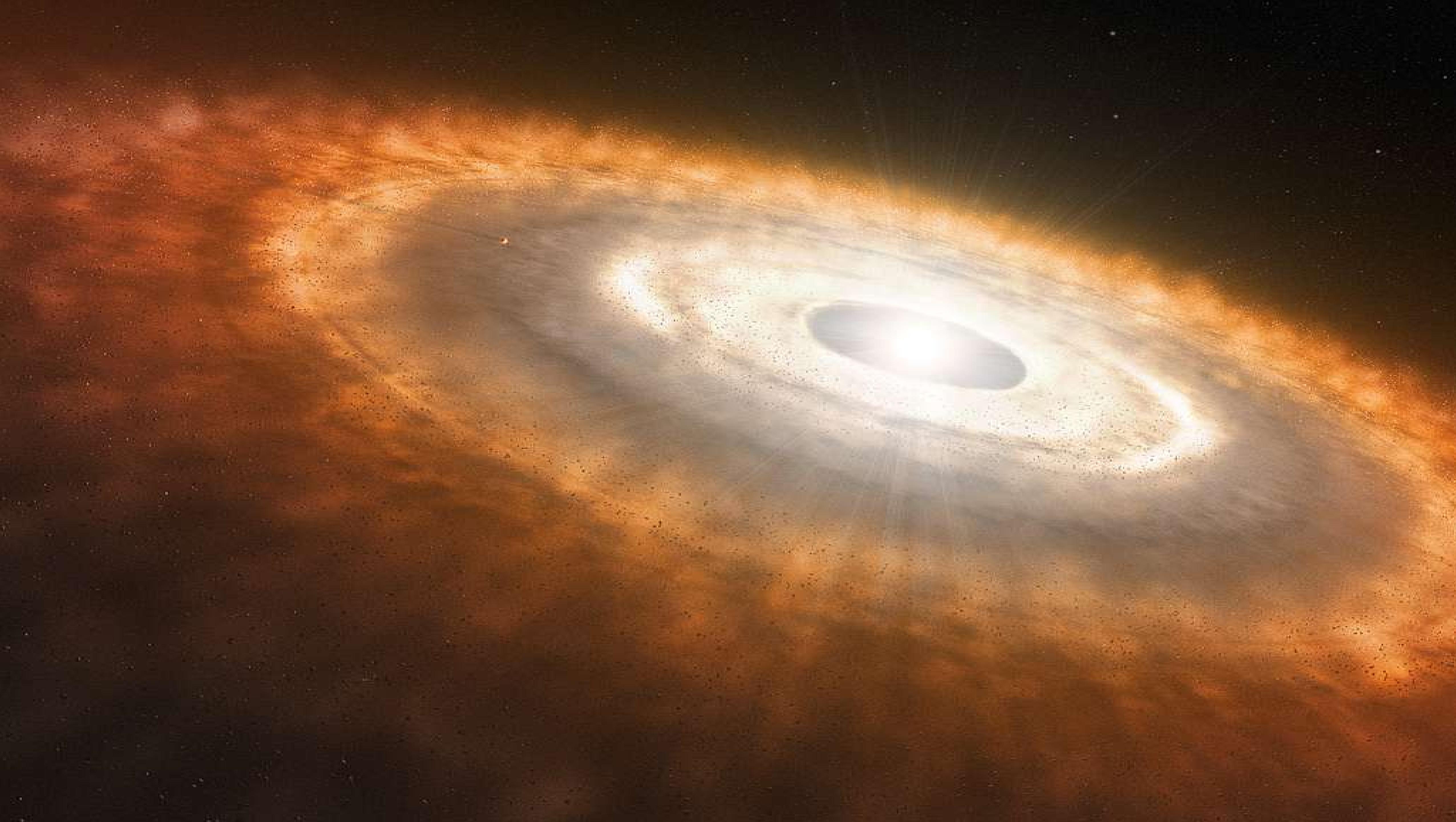
Rogelio Bernal Andreo - deepskycolors (Orion, October 2010)

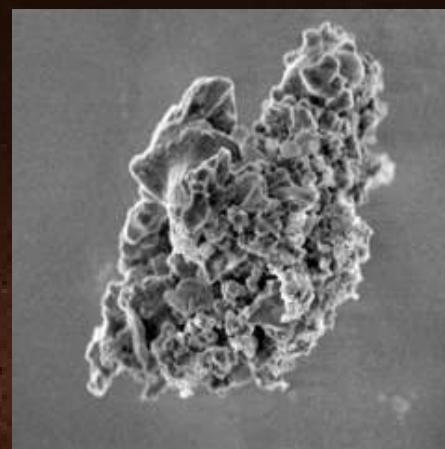




Antonio Hales (NRAO/ALMA)  
Libro “Estamos solos en el Universo”



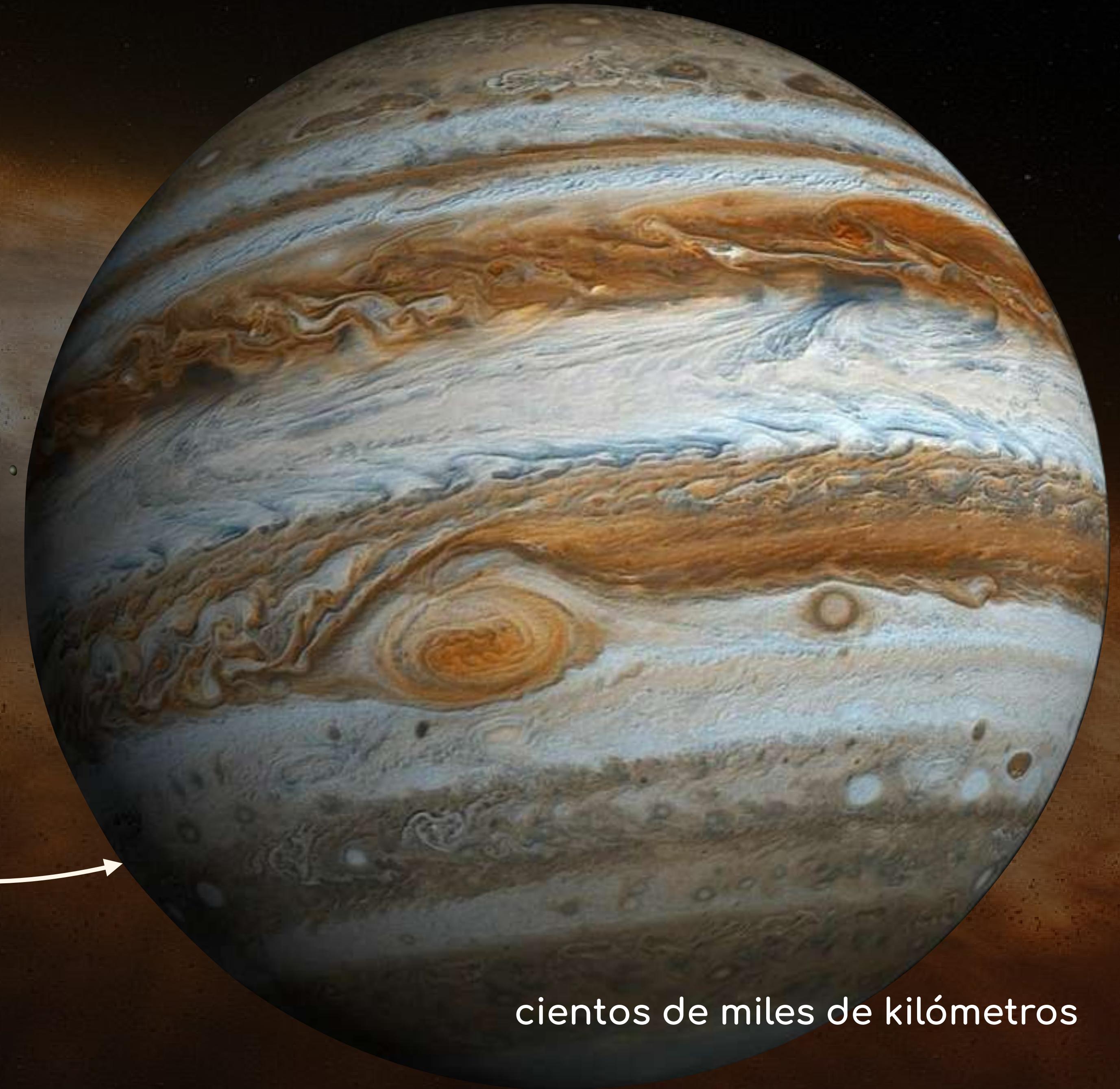




micrones

kilómetros

miles de kilómetros

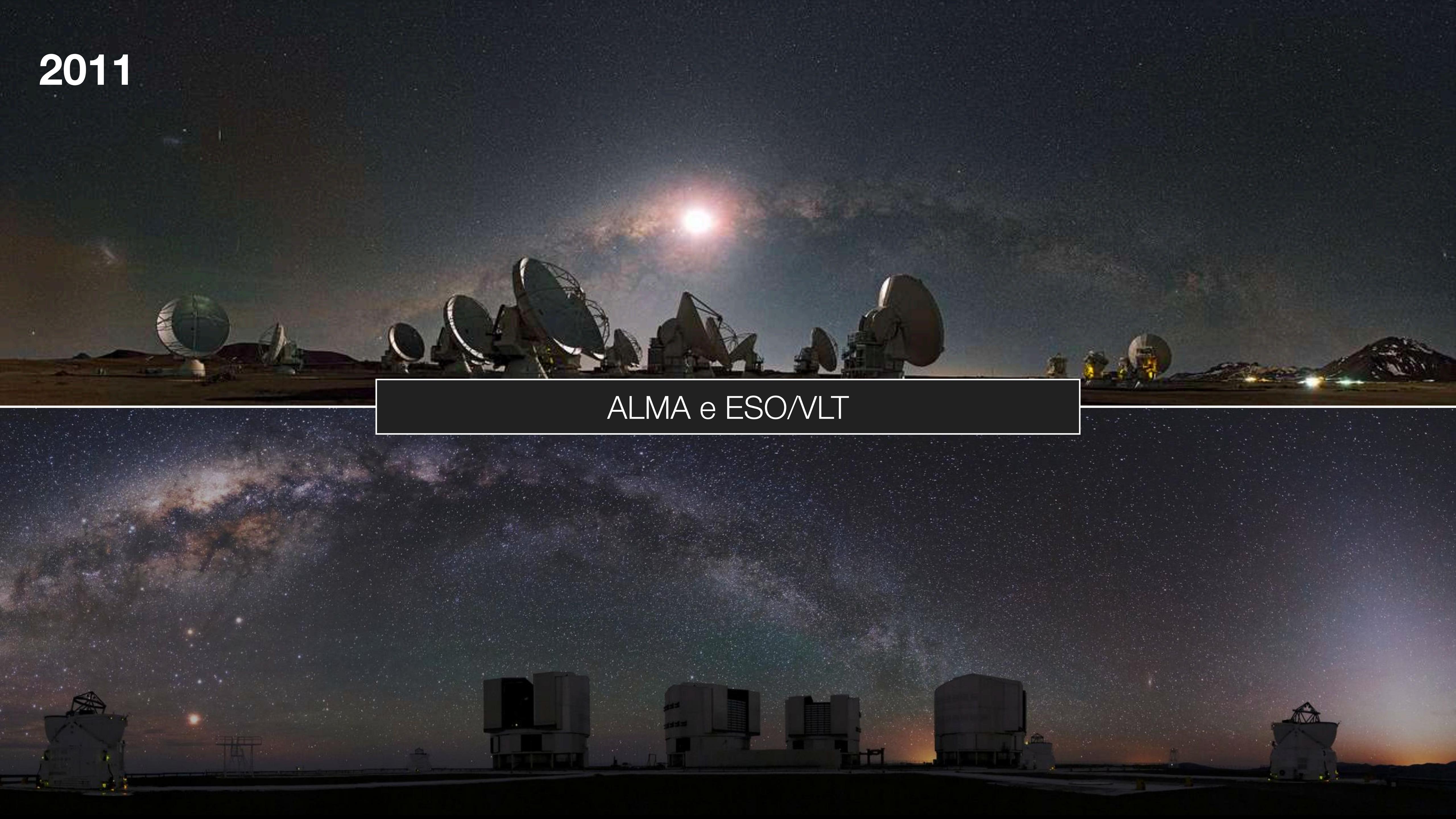


cientos de miles de kilómetros

Esta es solo una selección personal de avances que creo son importantes en el tema de formación planetaria. ¡Quedaron muchísimos trabajos afuera!

La búsqueda a la respuesta de los orígenes de la Tierra y los planetas no comenzó el 2011. Las culturas originarias se hicieron (y hacen) estas mismas preguntas.

2011



ALMA e ESO/VLT



**ALMA**

Imagen: NatGeo

**ALMA**

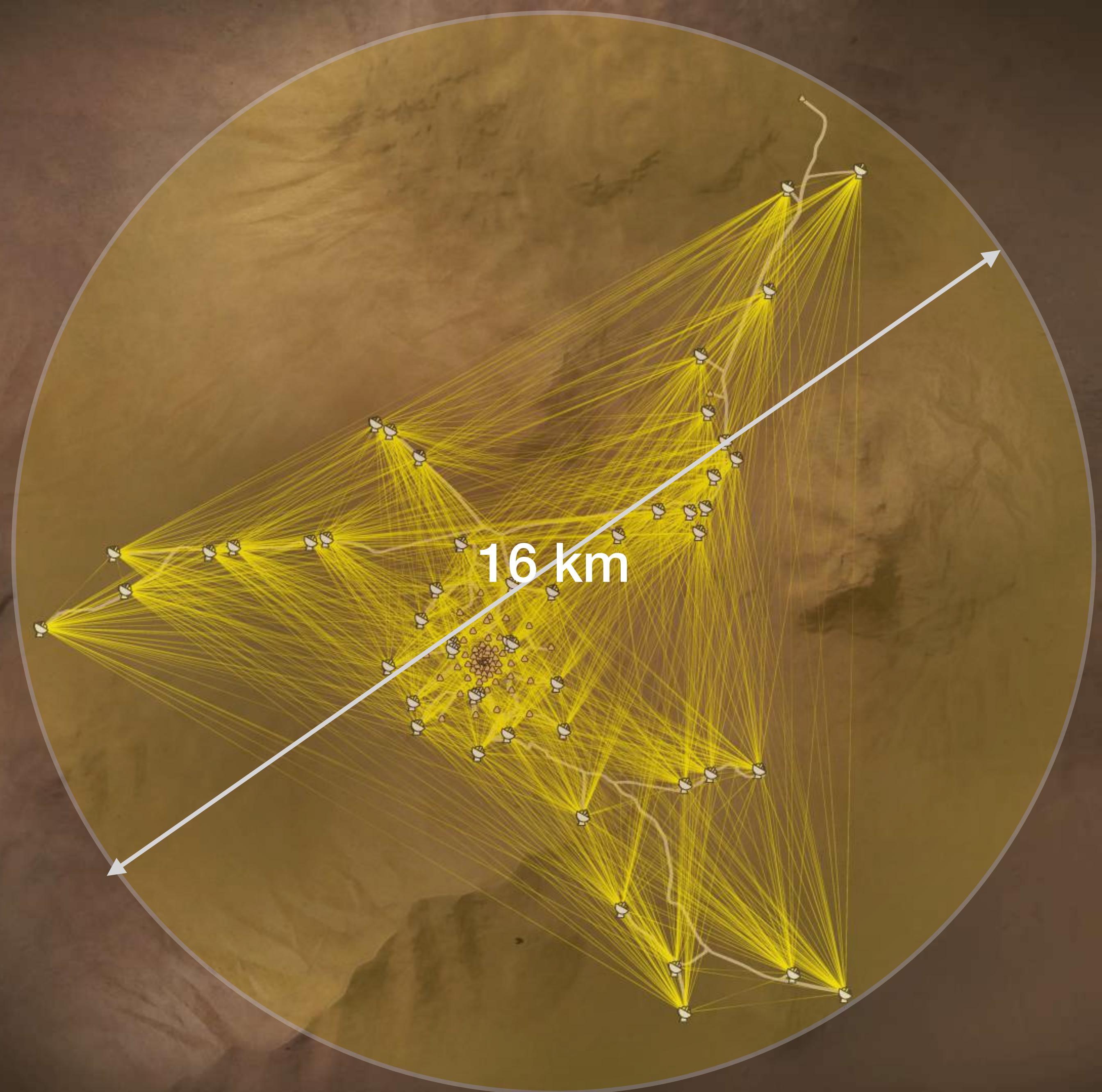
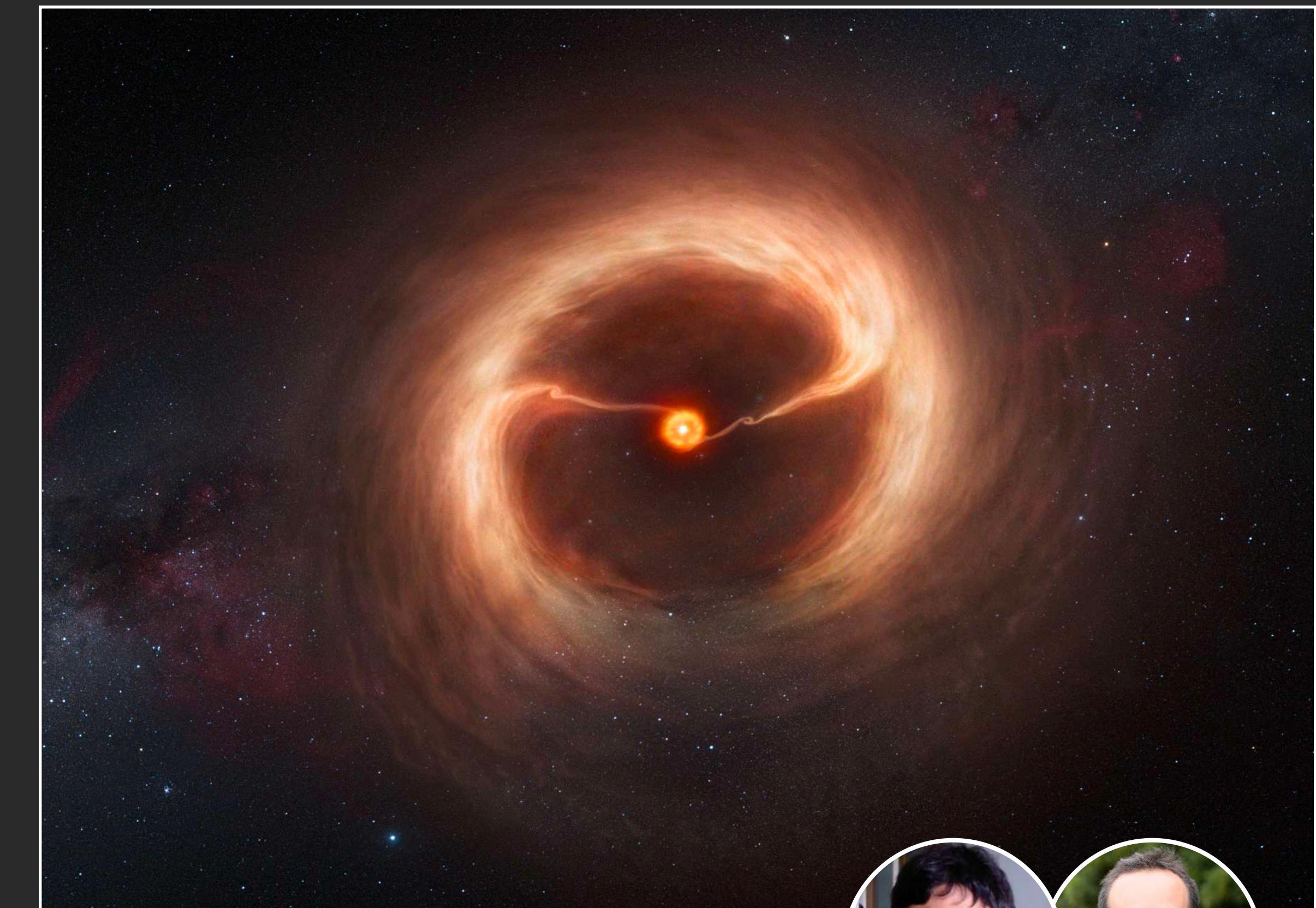
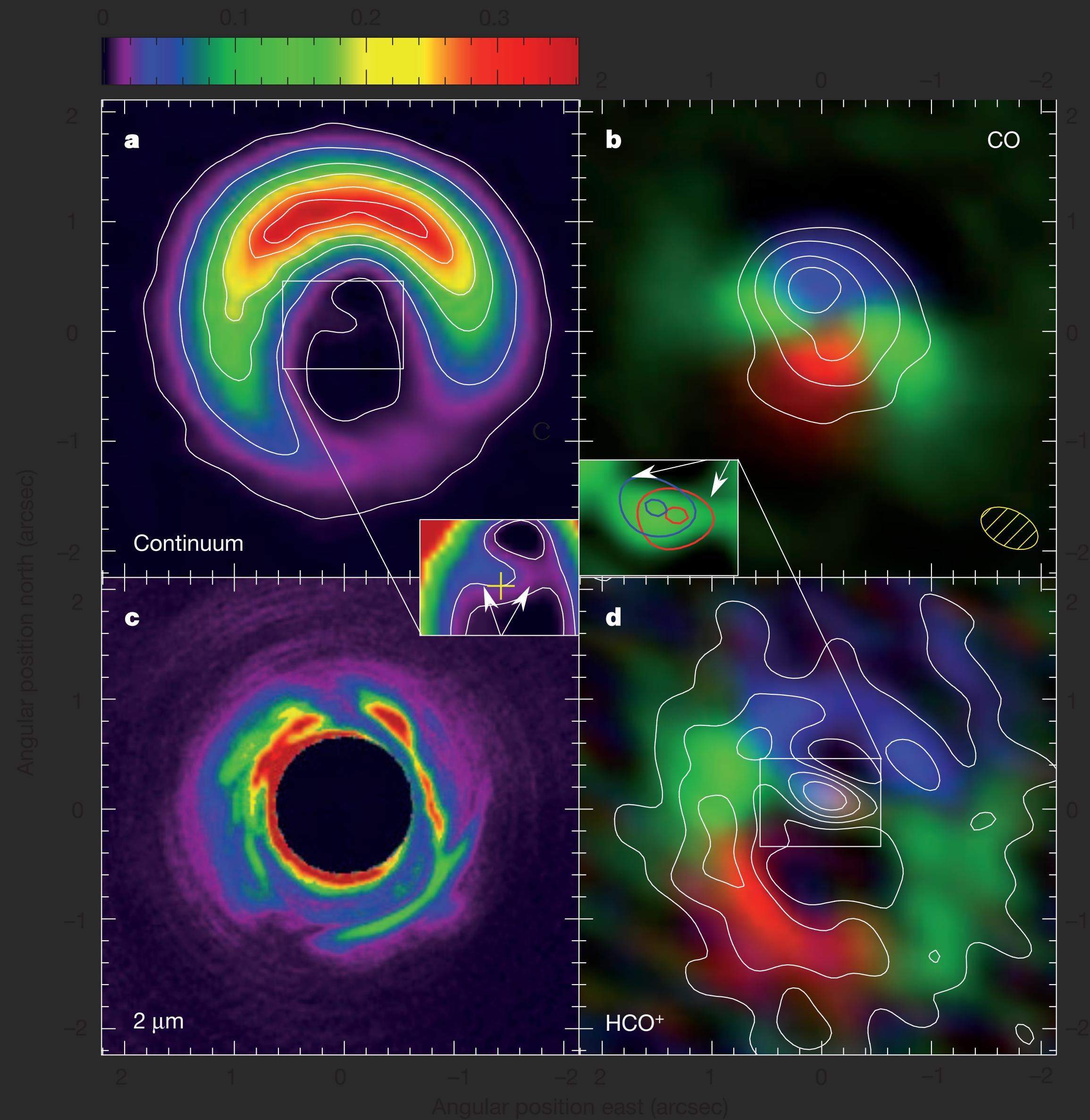


Imagen: NatGeo

2013

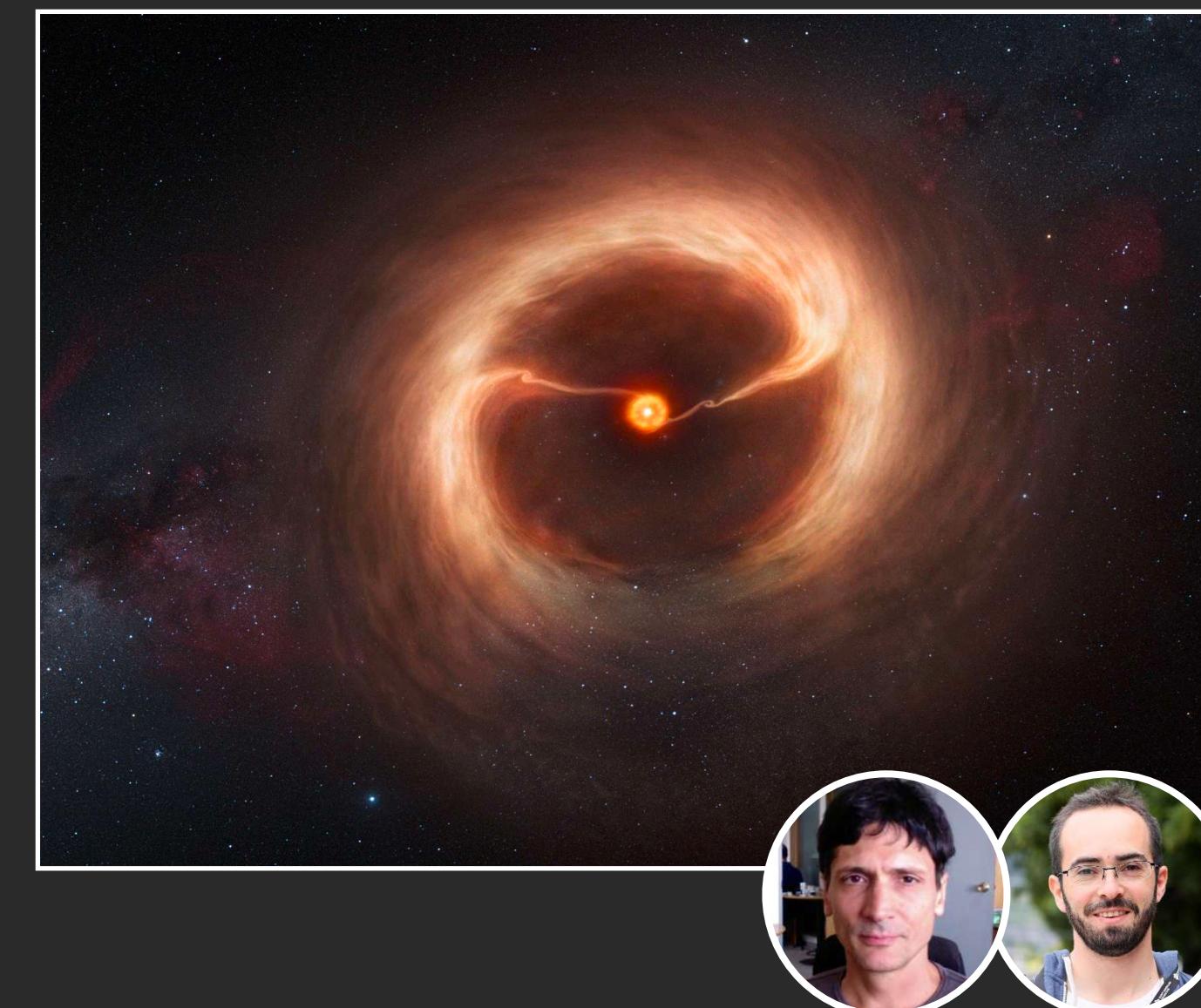
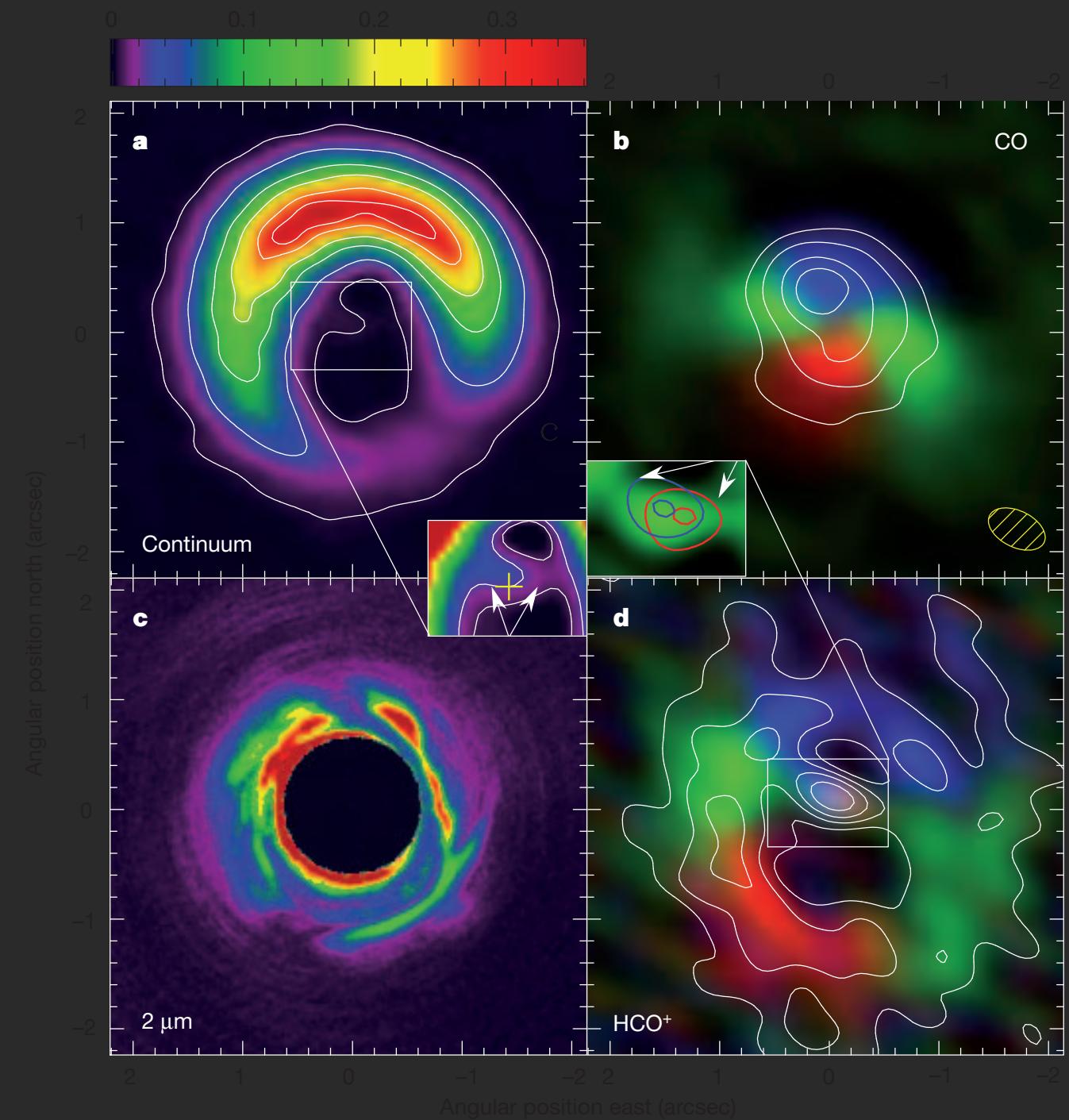
Aprendimos que los discos protoplanetarios podían tener **vórtices** y **trampas de polvo**



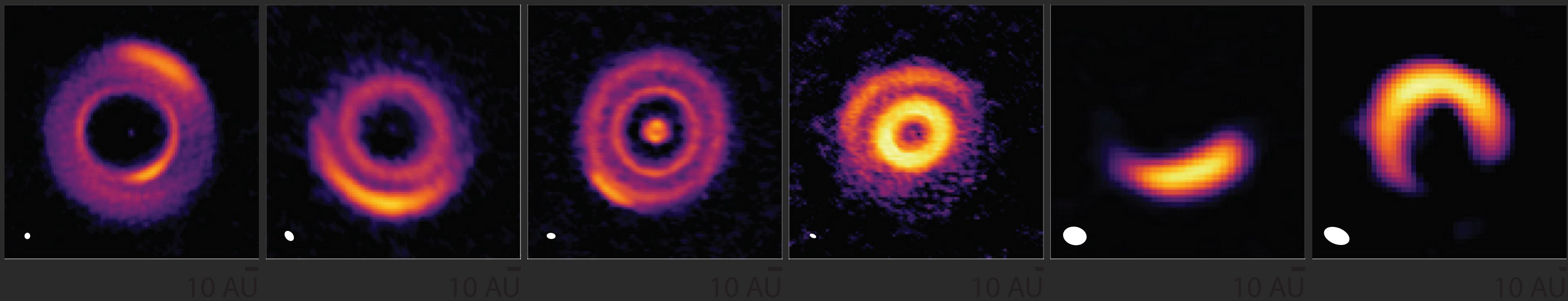
Cassasus, van der Plas, Pérez et al. (2013), **Nature**

2013

Aprendimos que los discos protoplanetarios podían tener **vórtices** y **trampas de polvo**

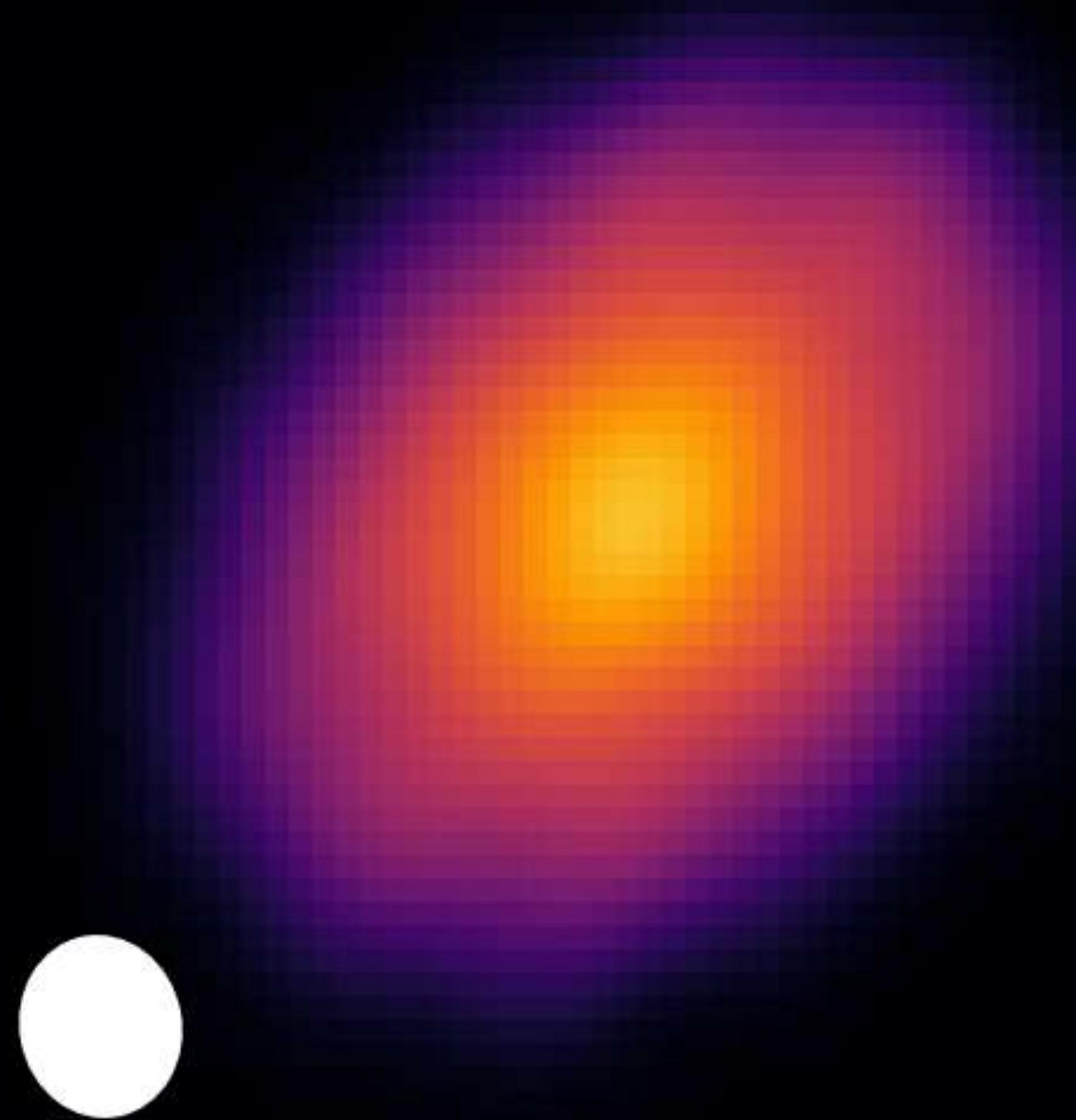


Cassasus, van der Plas, Pérez et al. (2013), **Nature**



2014

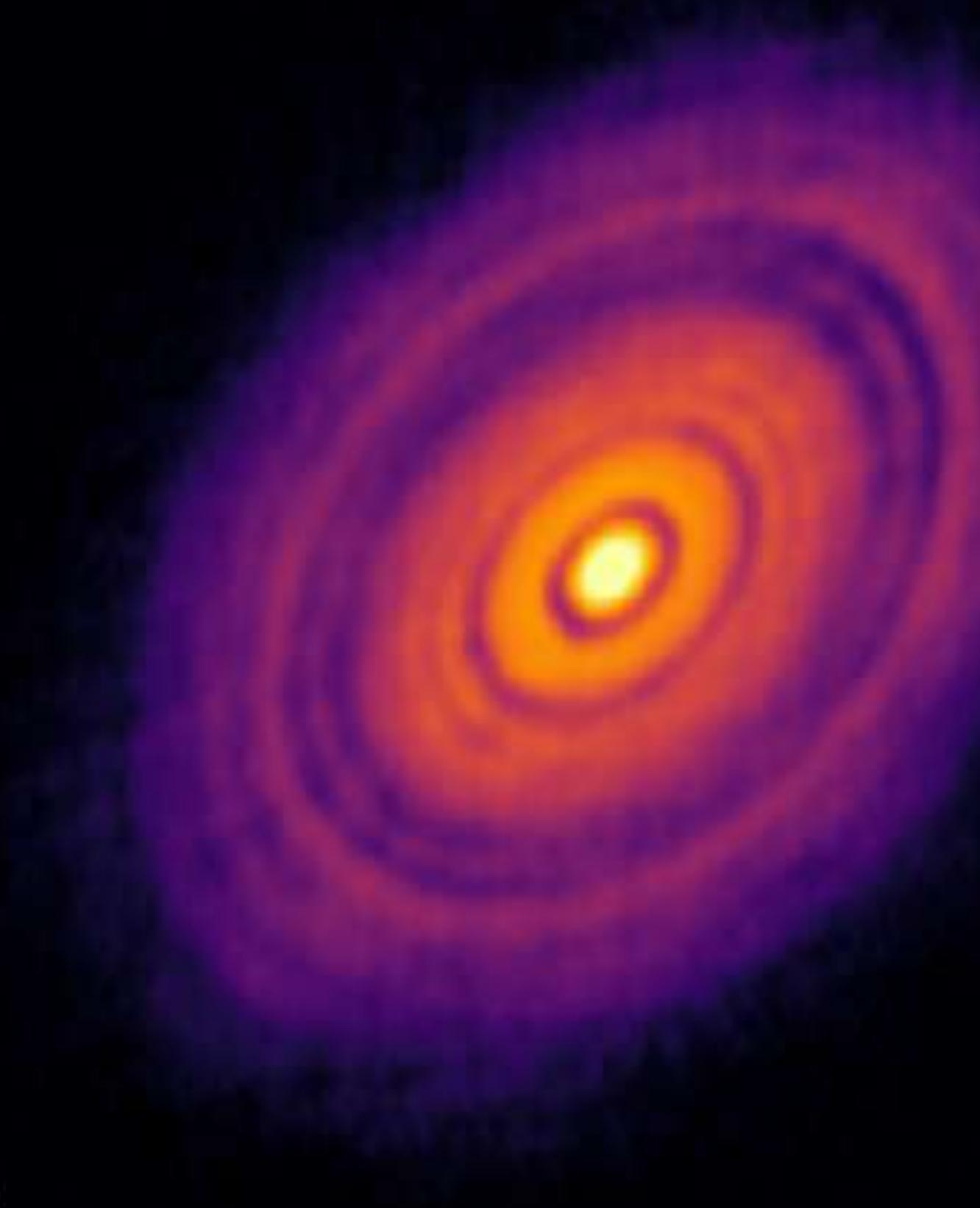
Aprendimos sobre los **anillos y estructuras finas: HL Tau**



Kwon et al. 2011 (CARMA telescope)

2014

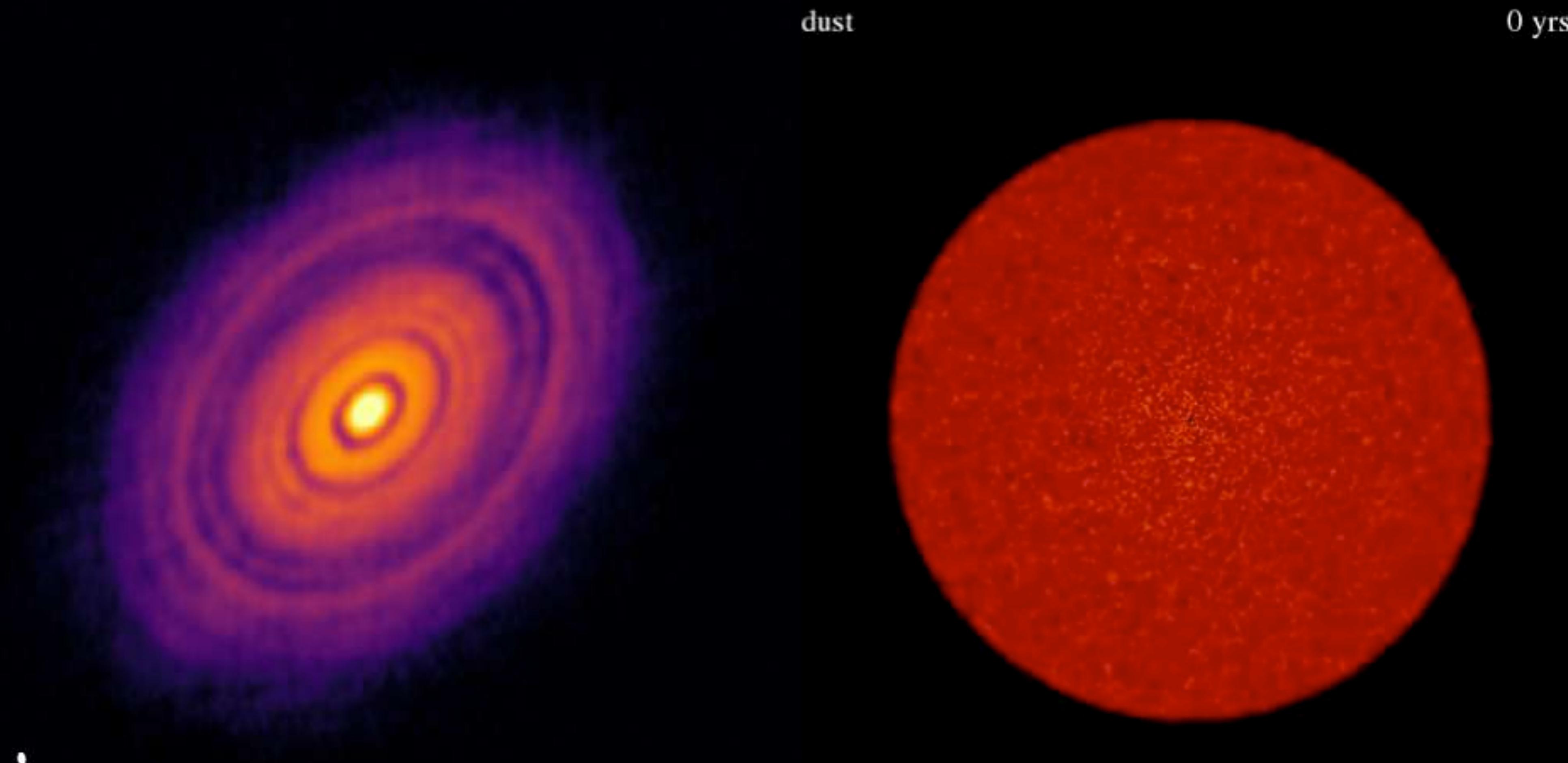
Aprendimos sobre los **anillos y estructuras finas: HL Tau**



ALMA partnership (2015)

2014

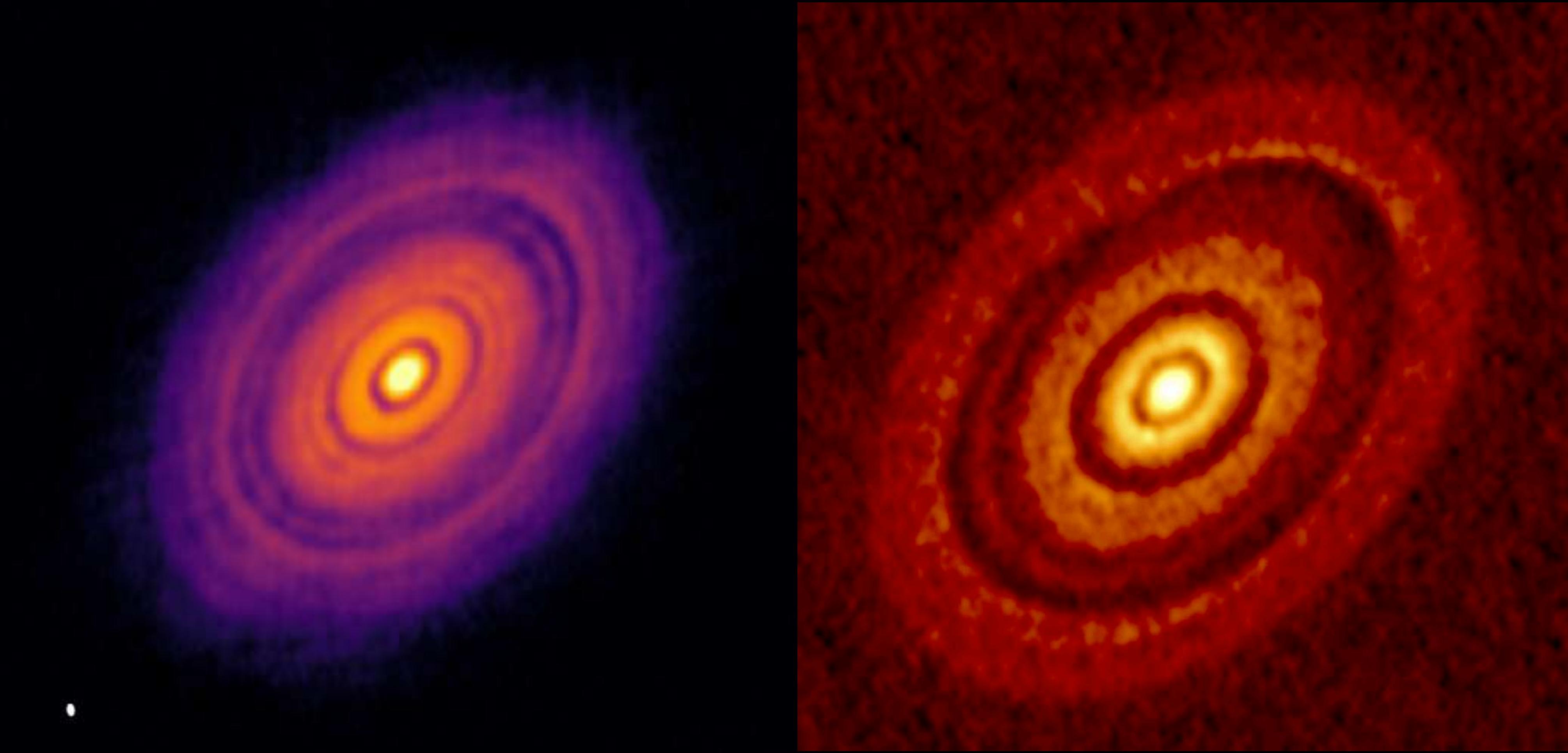
Aprendimos sobre los **anillos y estructuras finas: HL Tau**



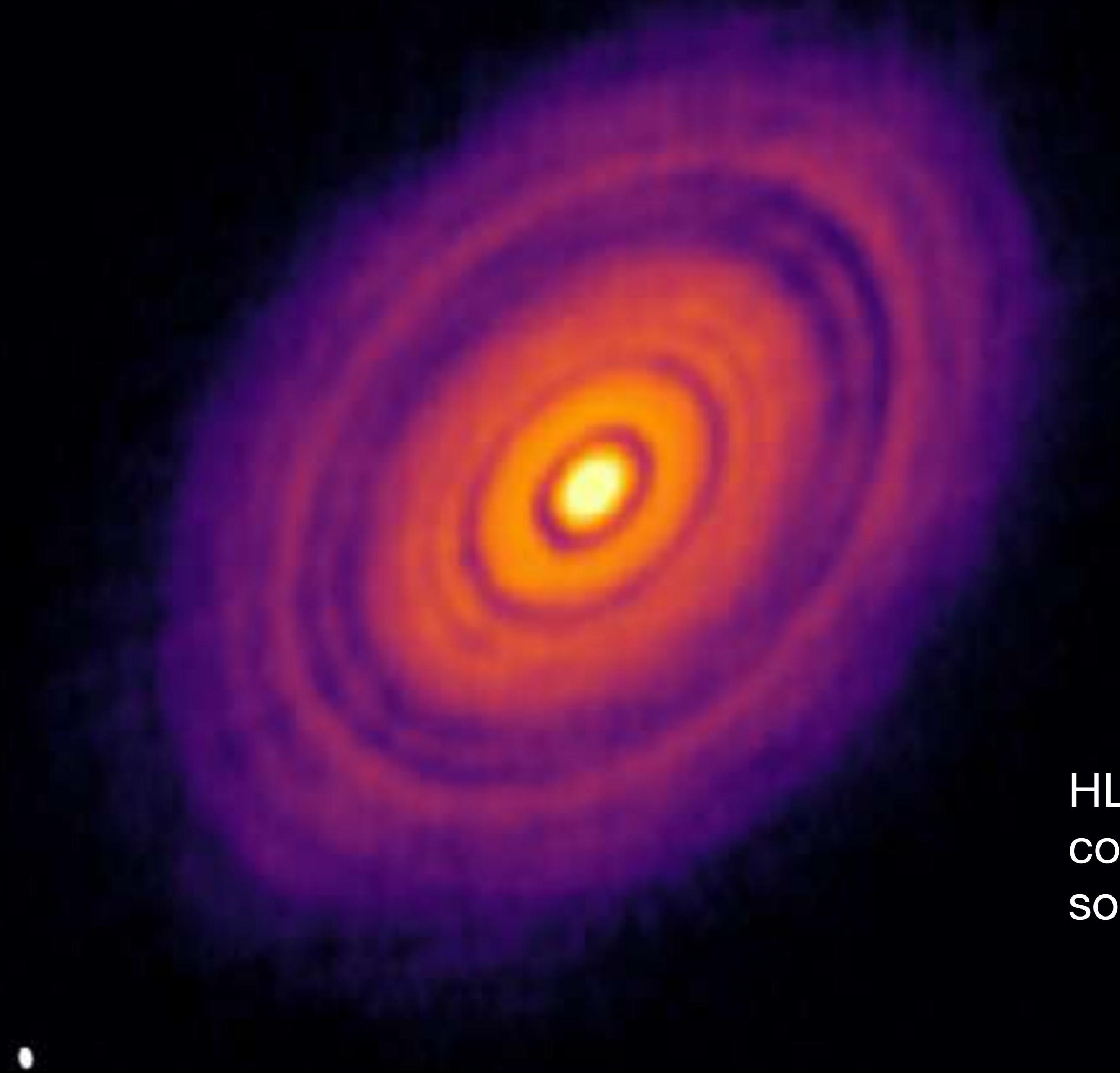
3 planetas gigantes logran explicar HL Tau - Dipierro et al (2016)

2014

Aprendimos sobre los **anillos y estructuras finas: HL Tau**



3 planetas gigantes logran explicar HL Tau - Dipierro et al (2016)

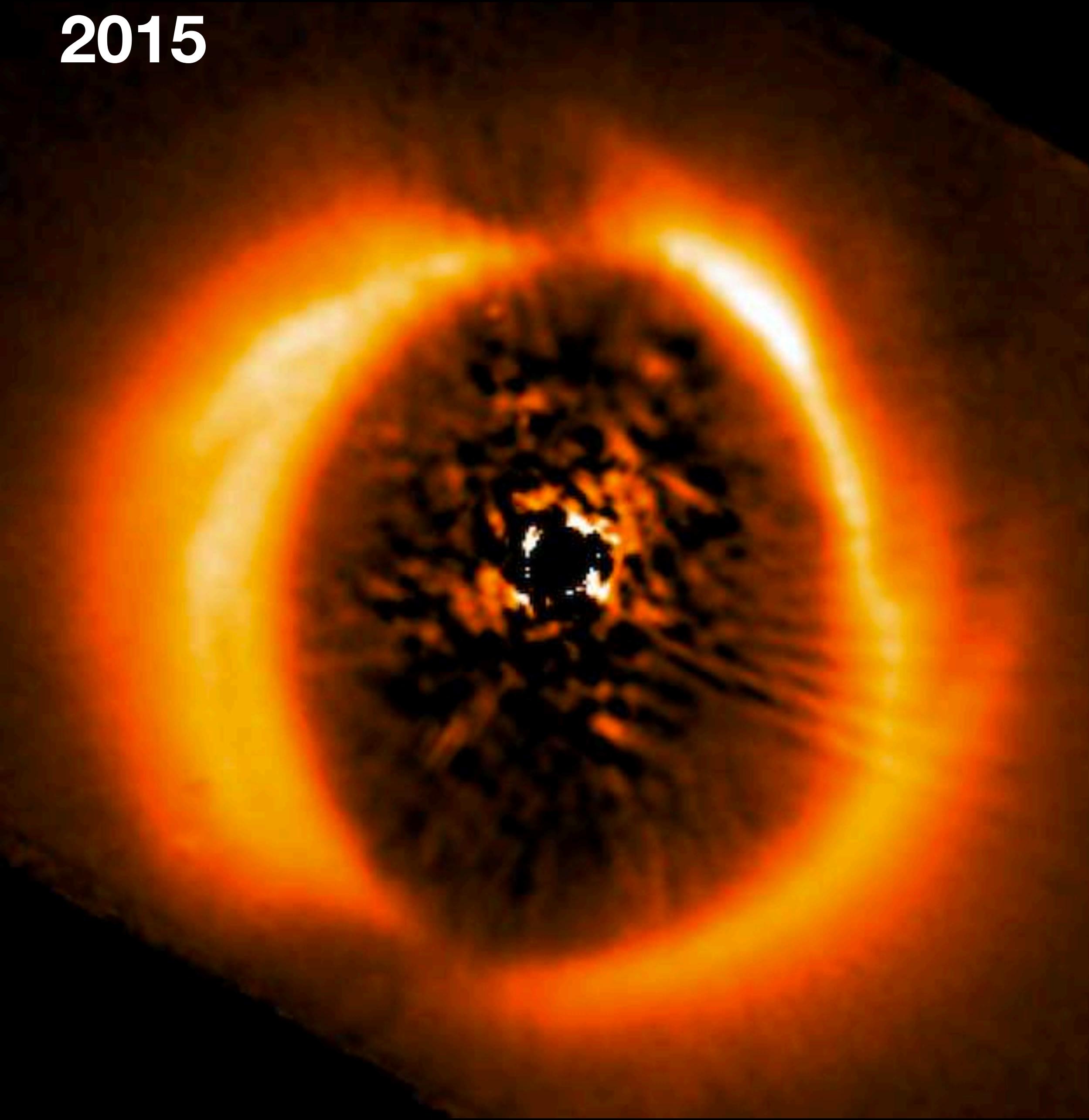


HL Tau Nos enseño que la formación planetaria debe comenzar en una etapa muy temprana ya que el disco solo tiene medio millón de años de edad!



Adapted from ALMA partnership (2015), DSHARP (Andrews et al. 2018), Dong et al. (2018), and Pérez et al. (2019), for Astro2020, National Academy Press

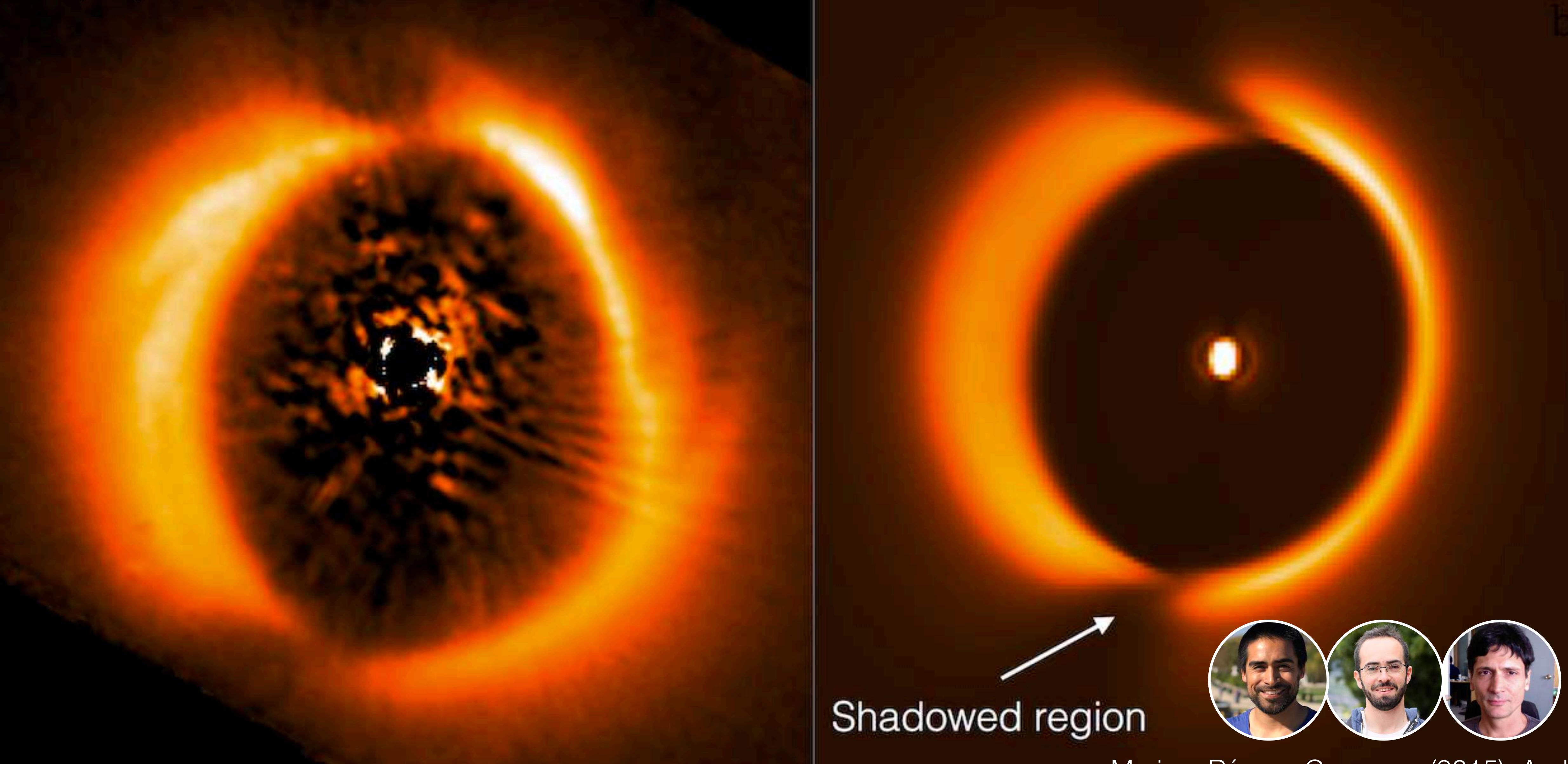
2015



2015

Se rompió el paradigma de que los discos deben ser planos

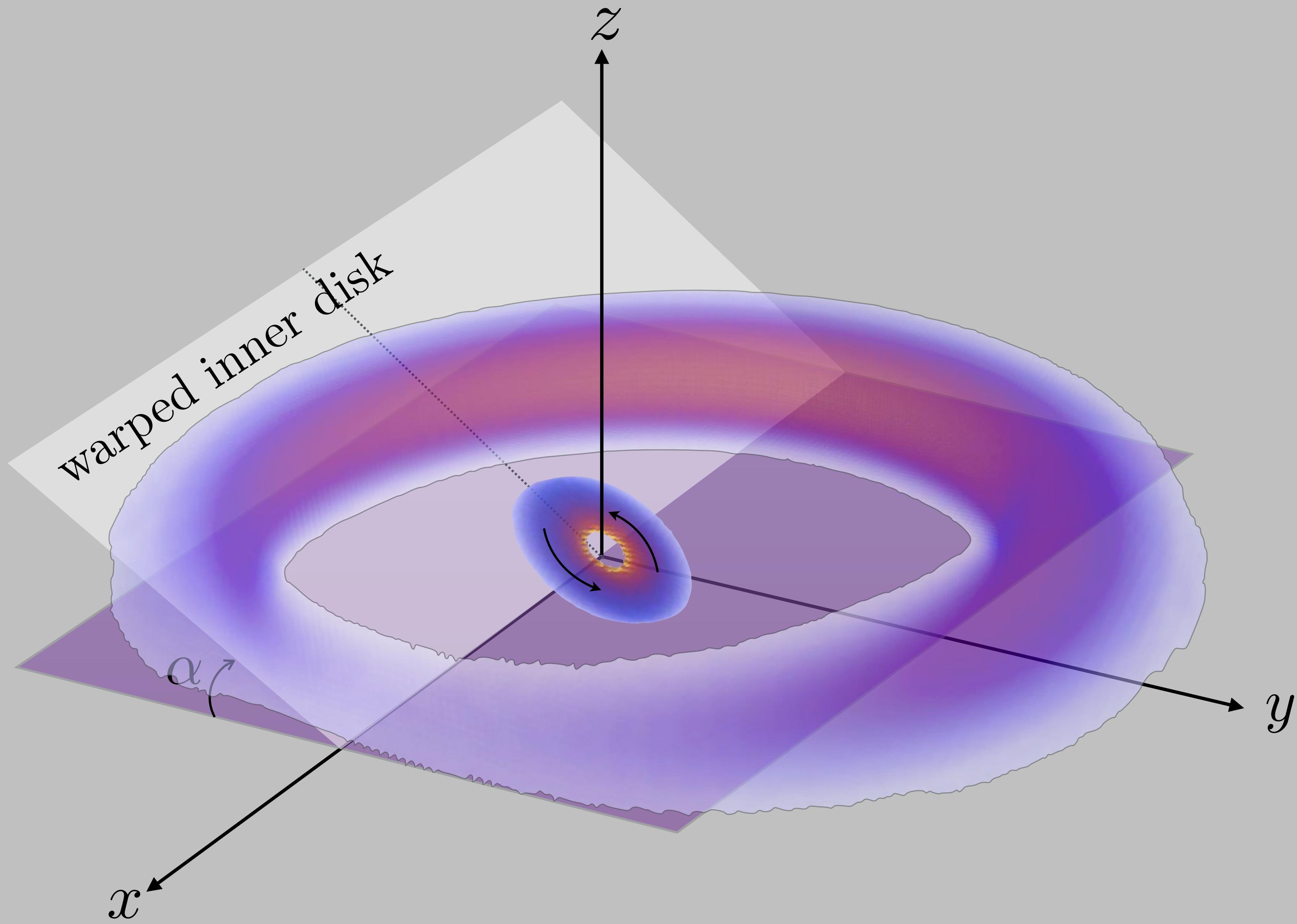
b



Shadowed region



Marino, Pérez y Casassus (2015), ApJL





ECLIPTIC

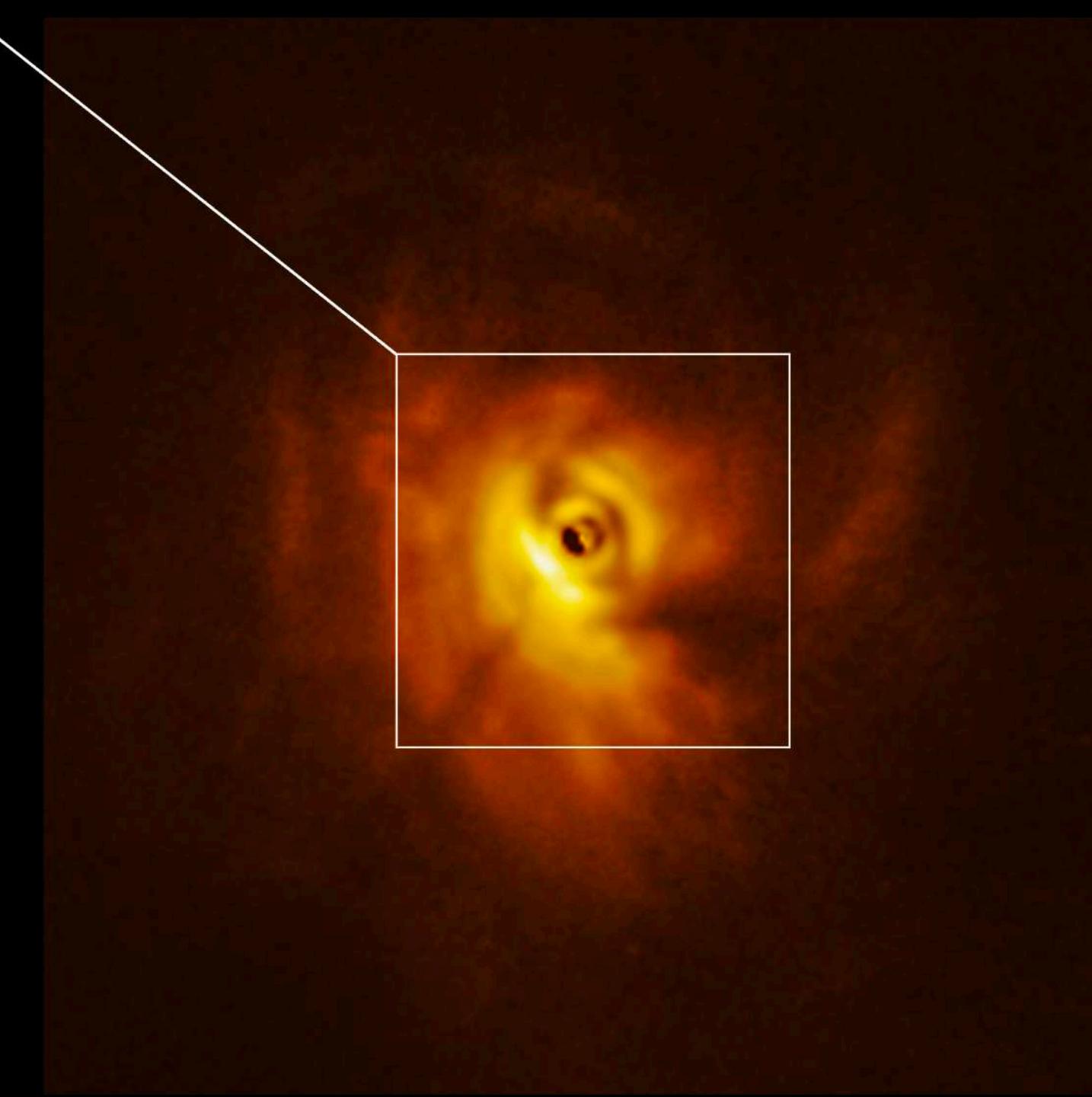
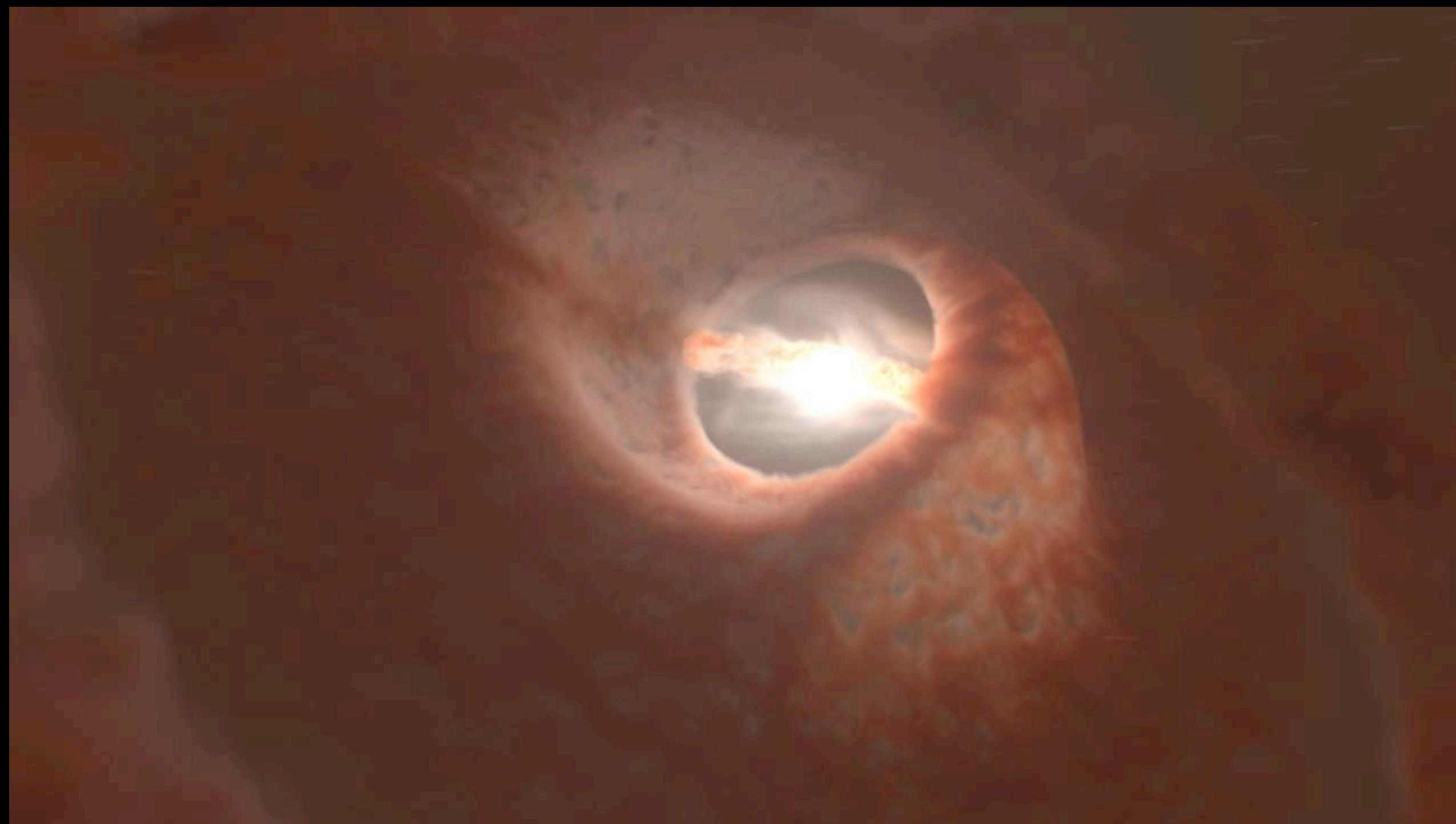
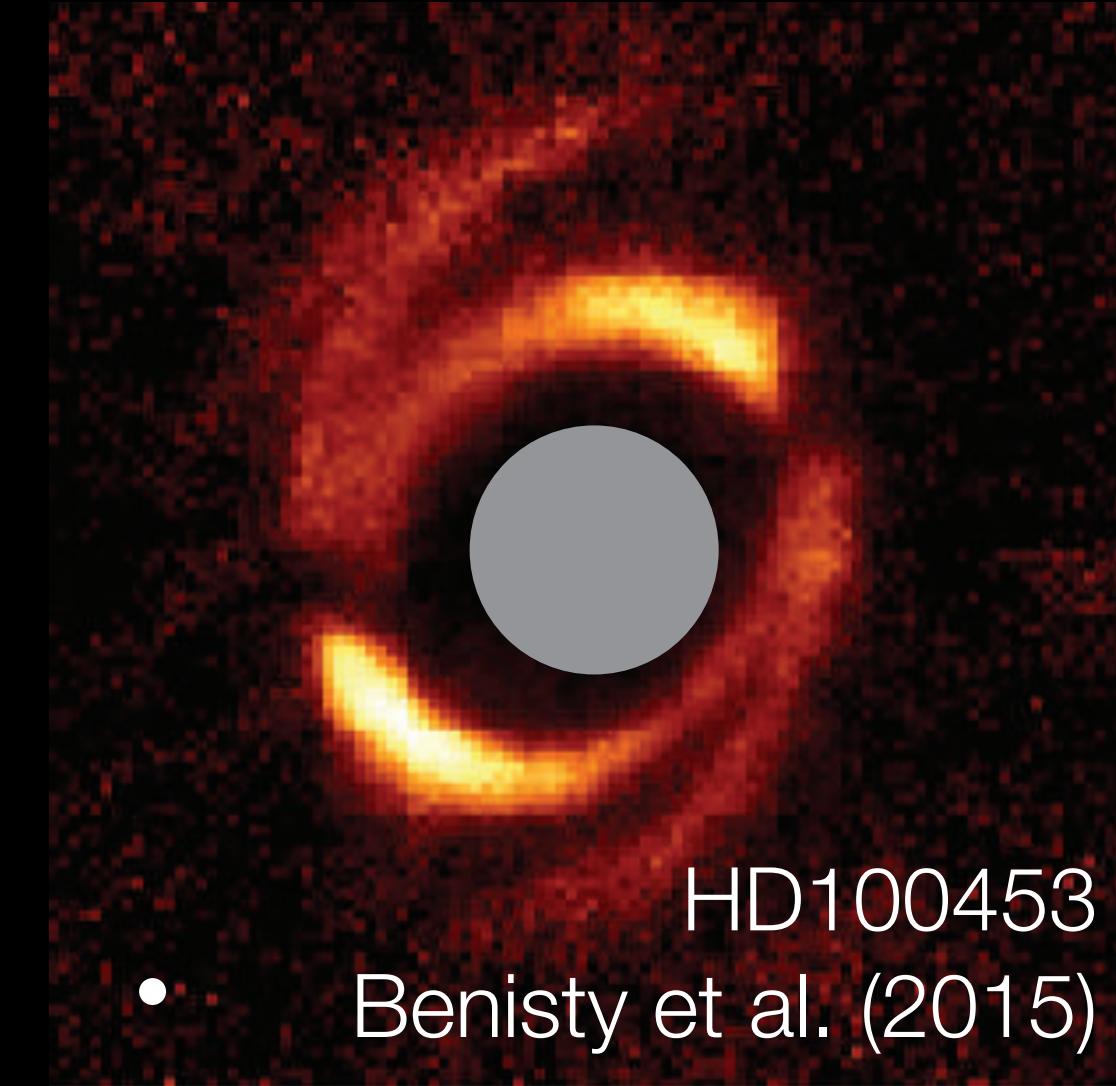
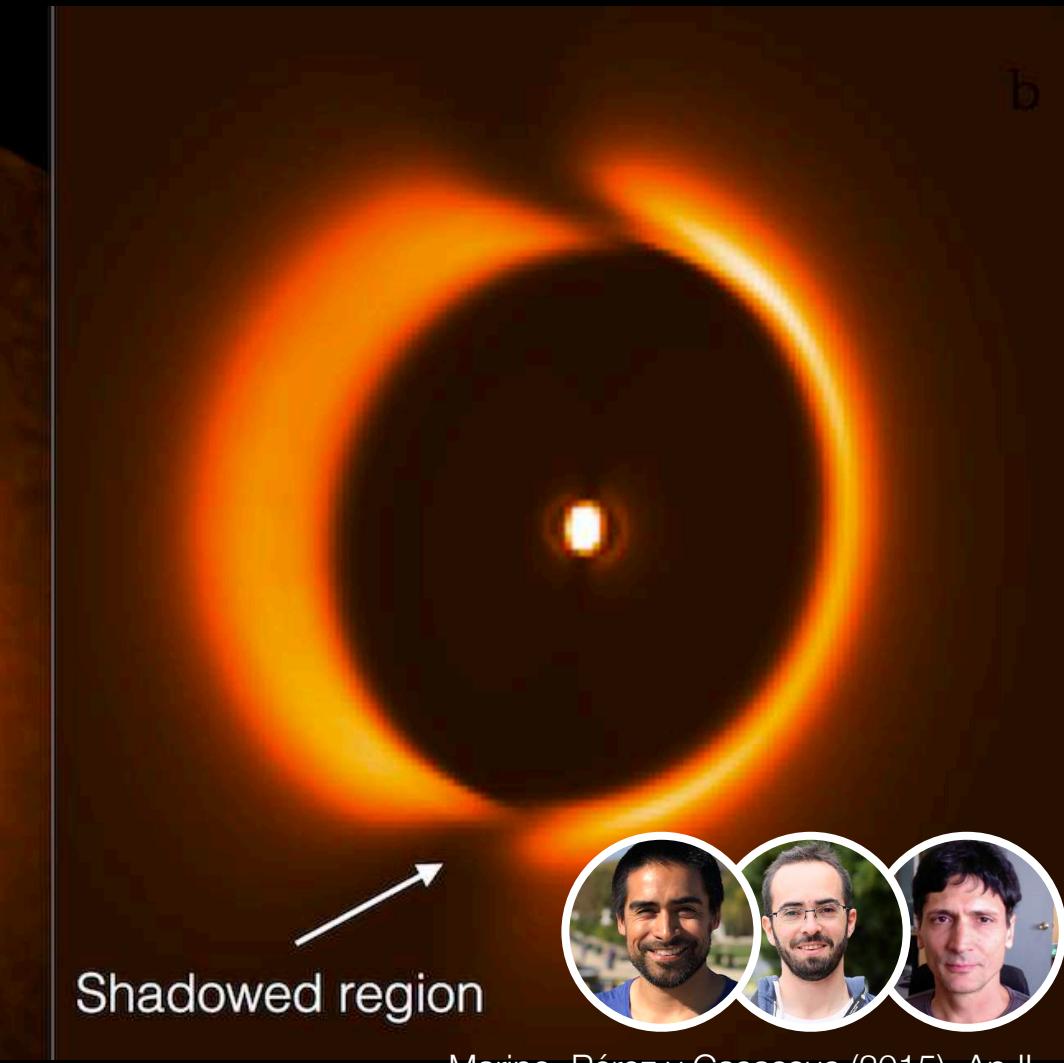
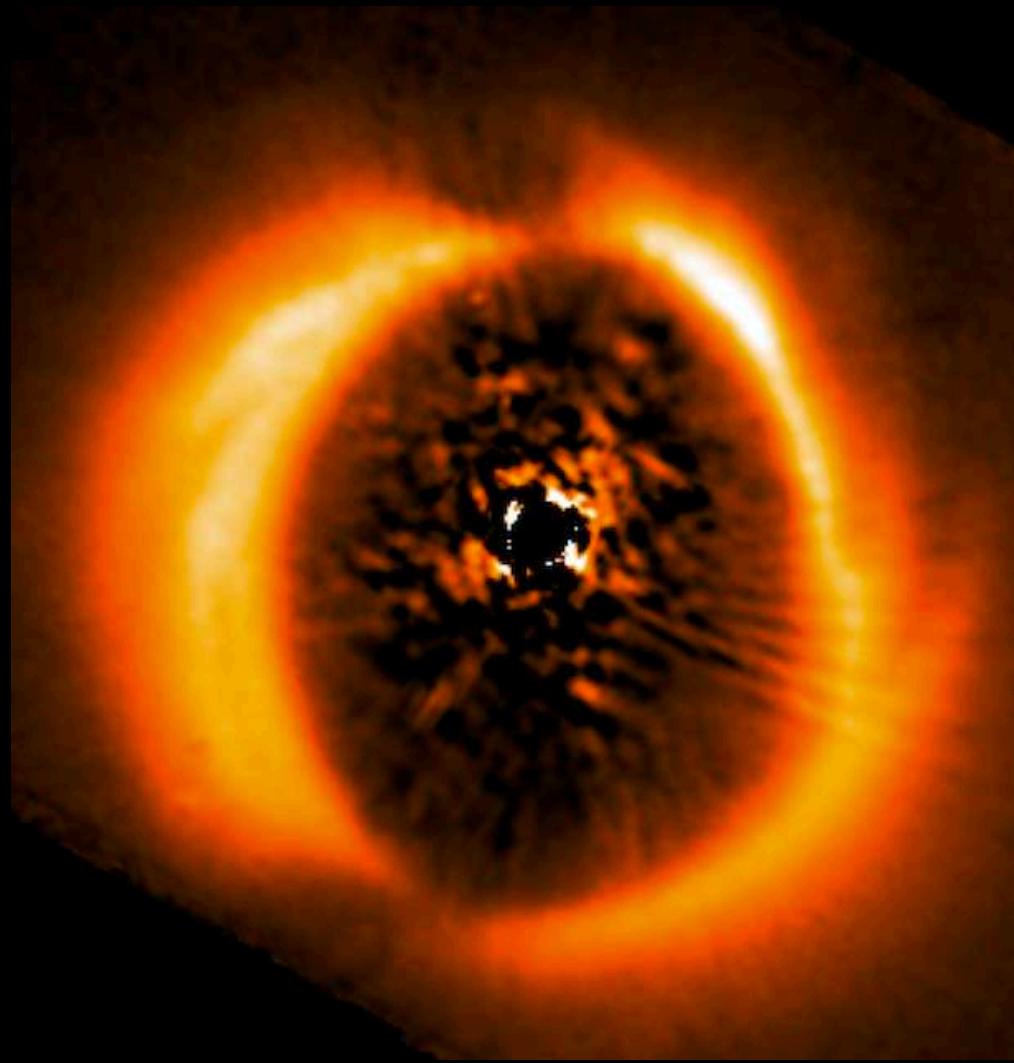
Regulus (α Leo)

Jupiter

Mars

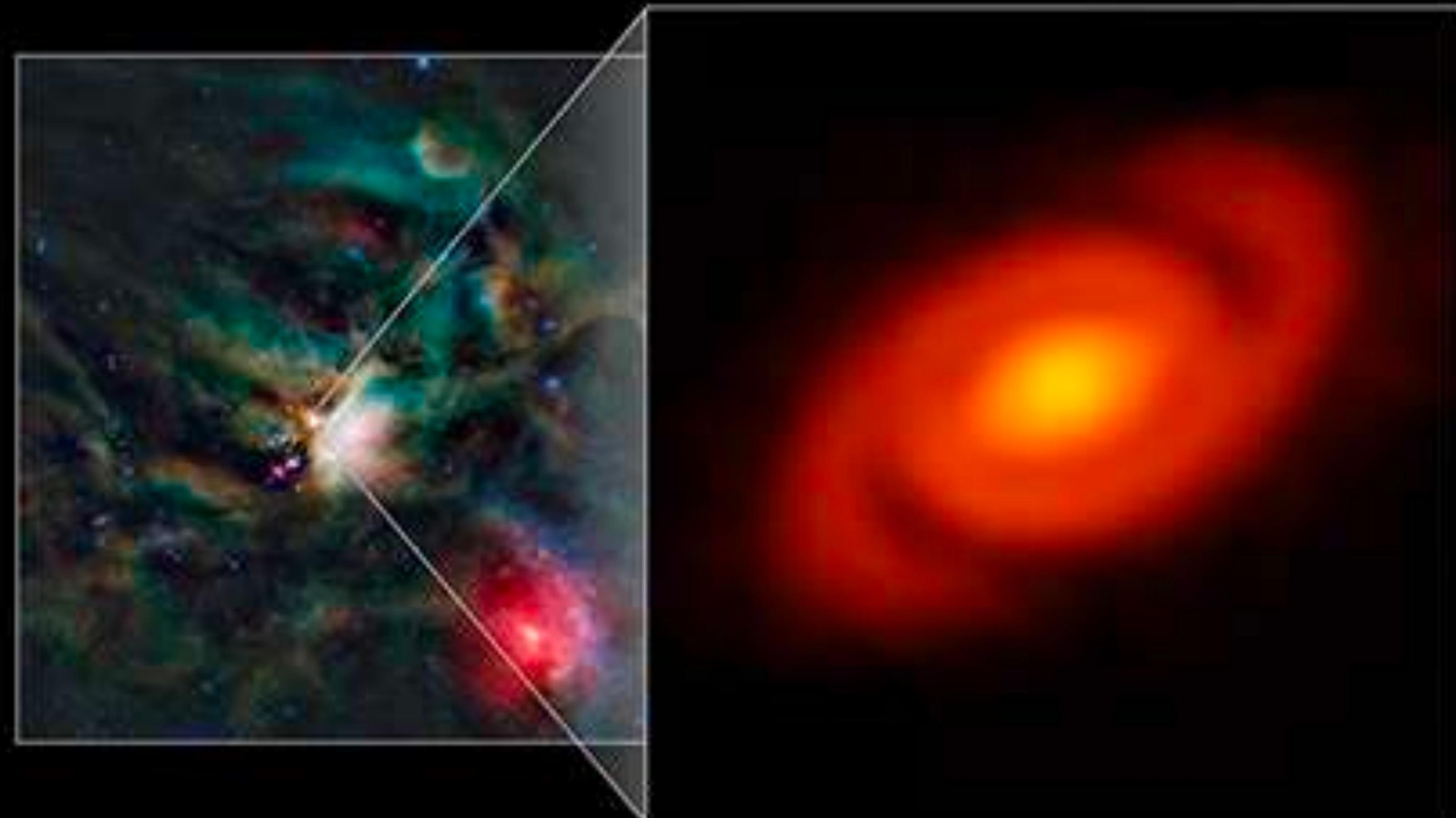
Venus

Magellan telescopes



**GW Ori.** ESO/L. Calçada, Exeter/Kraus et al.

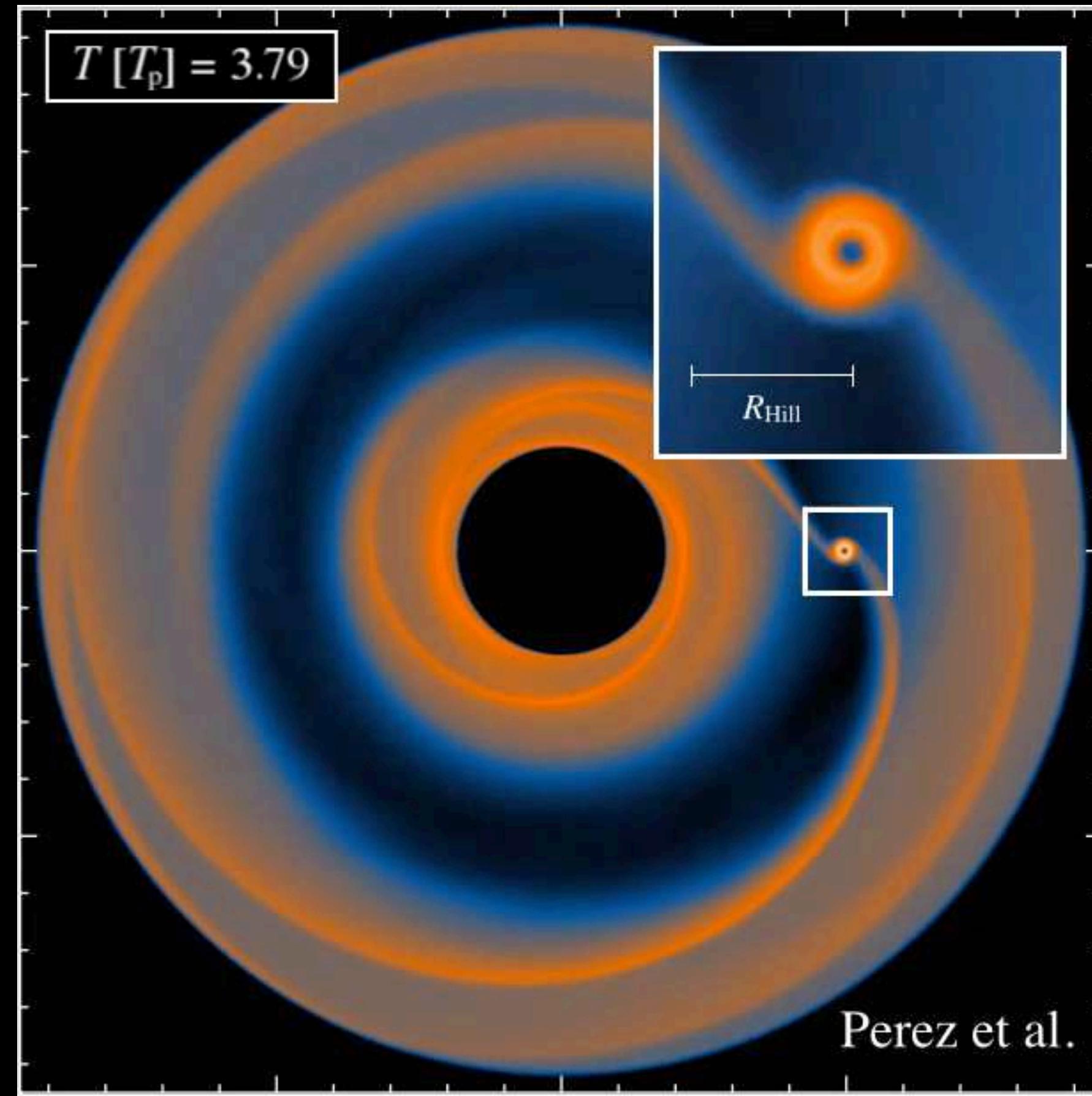
# 2016: los discos pueden ser gravitacionalmente inestables



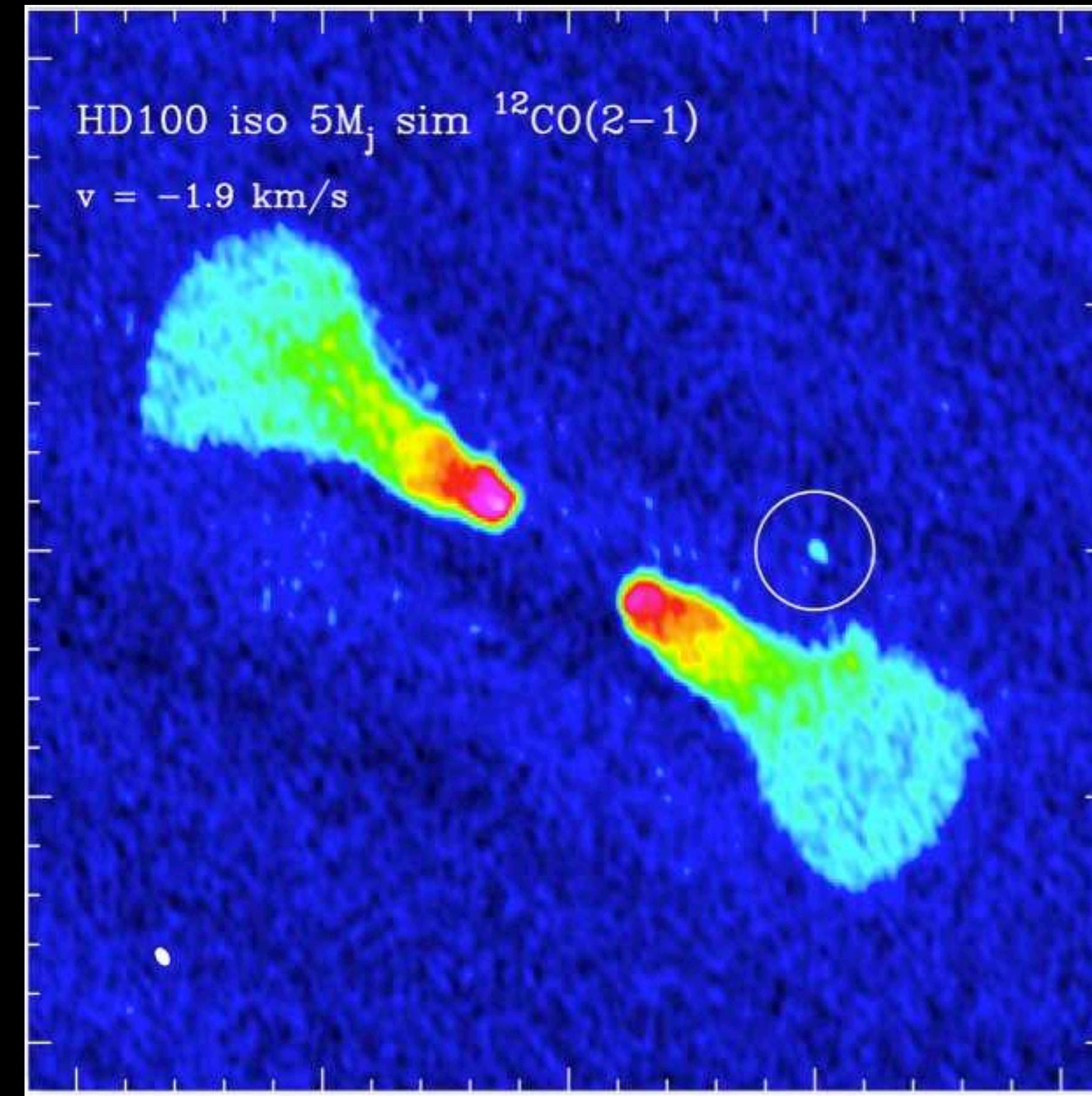
Laura Pérez et al. (2016)

# 2015: Predijimos cómo se puede detectar un planeta en formación

S



Simulation



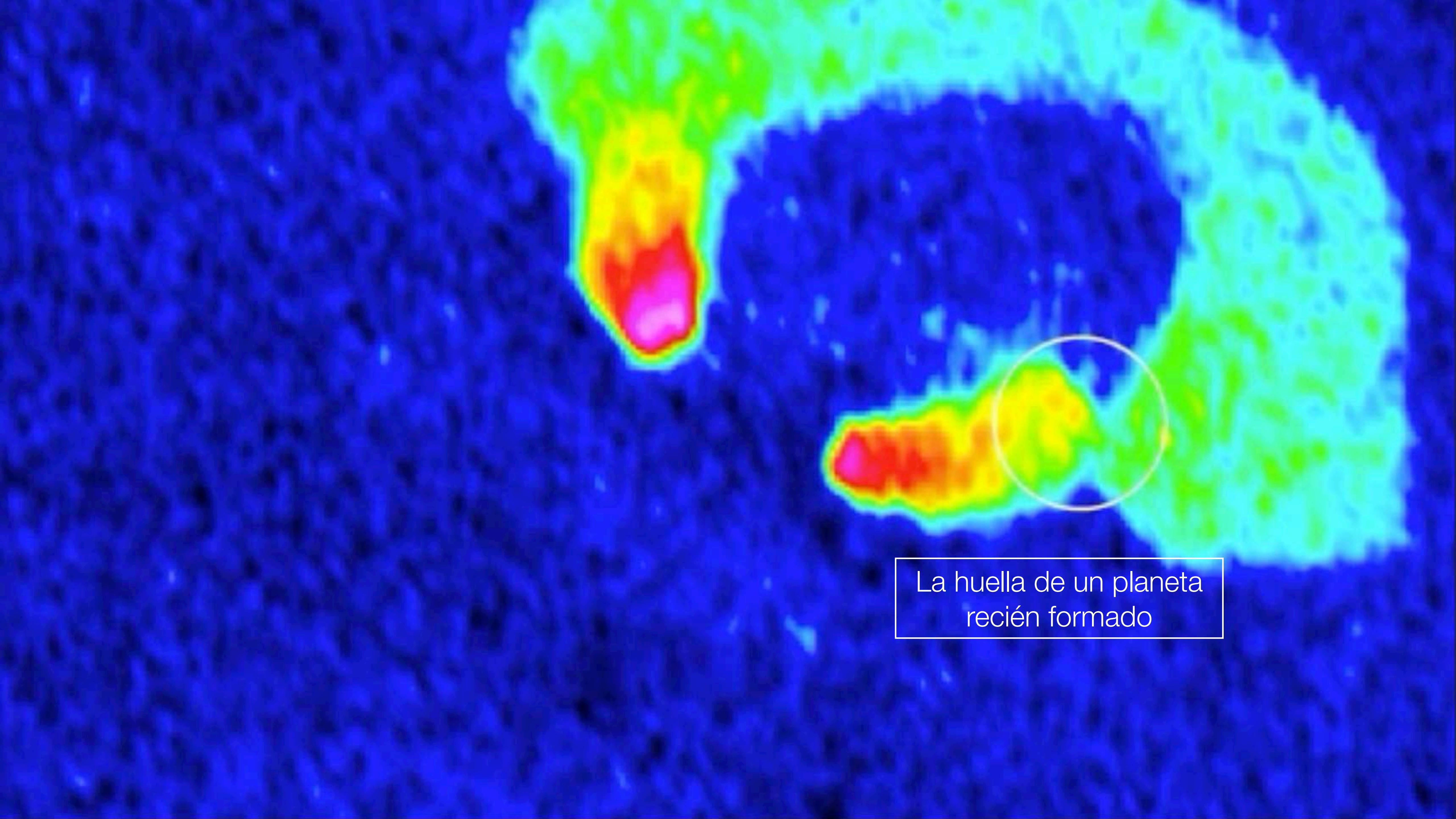
Simulation Prediction



Las observaciones de gas con ALMA son parecidas a hacer una “tomografía” del disco protoplanetario

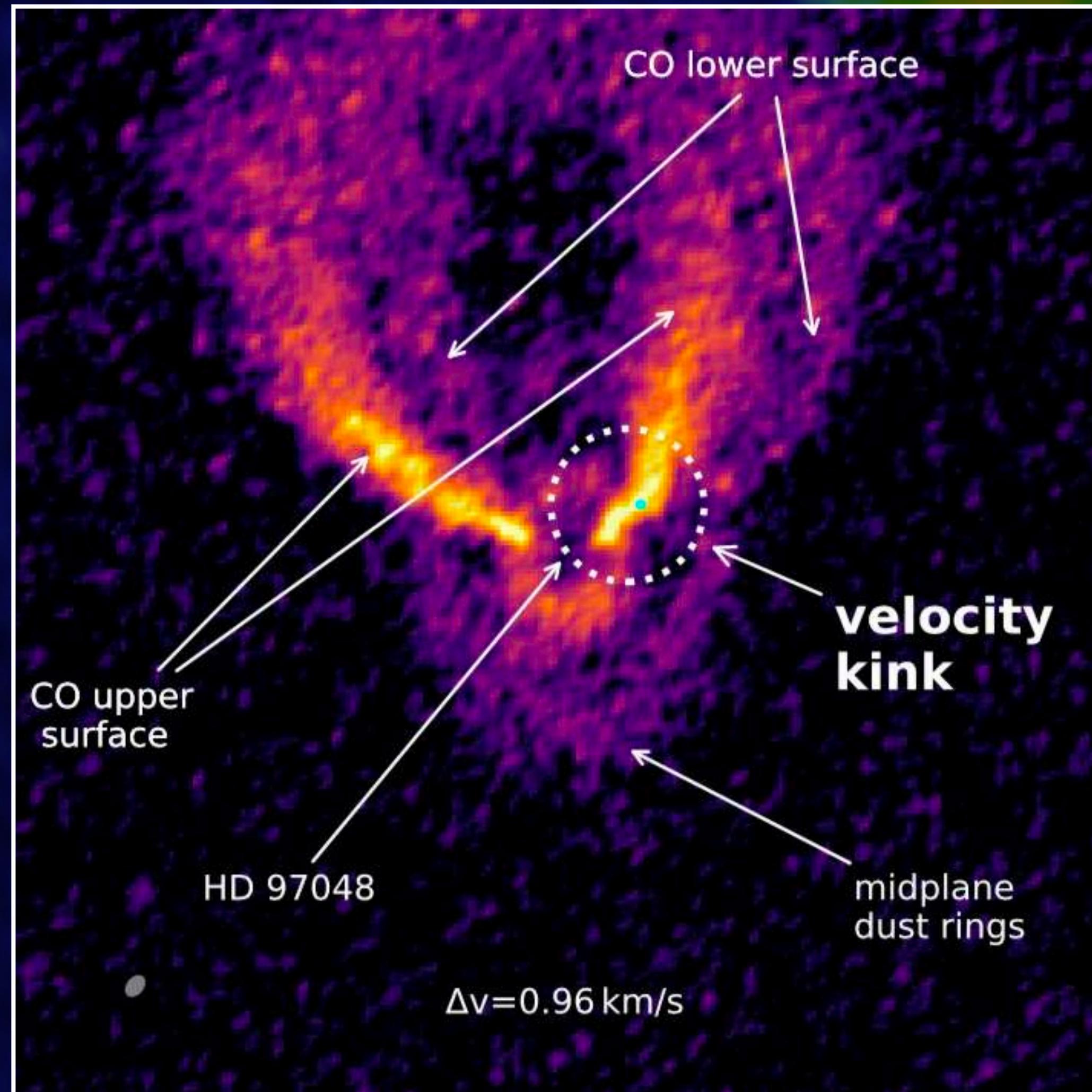


Sebastián Pérez et al. (2015)



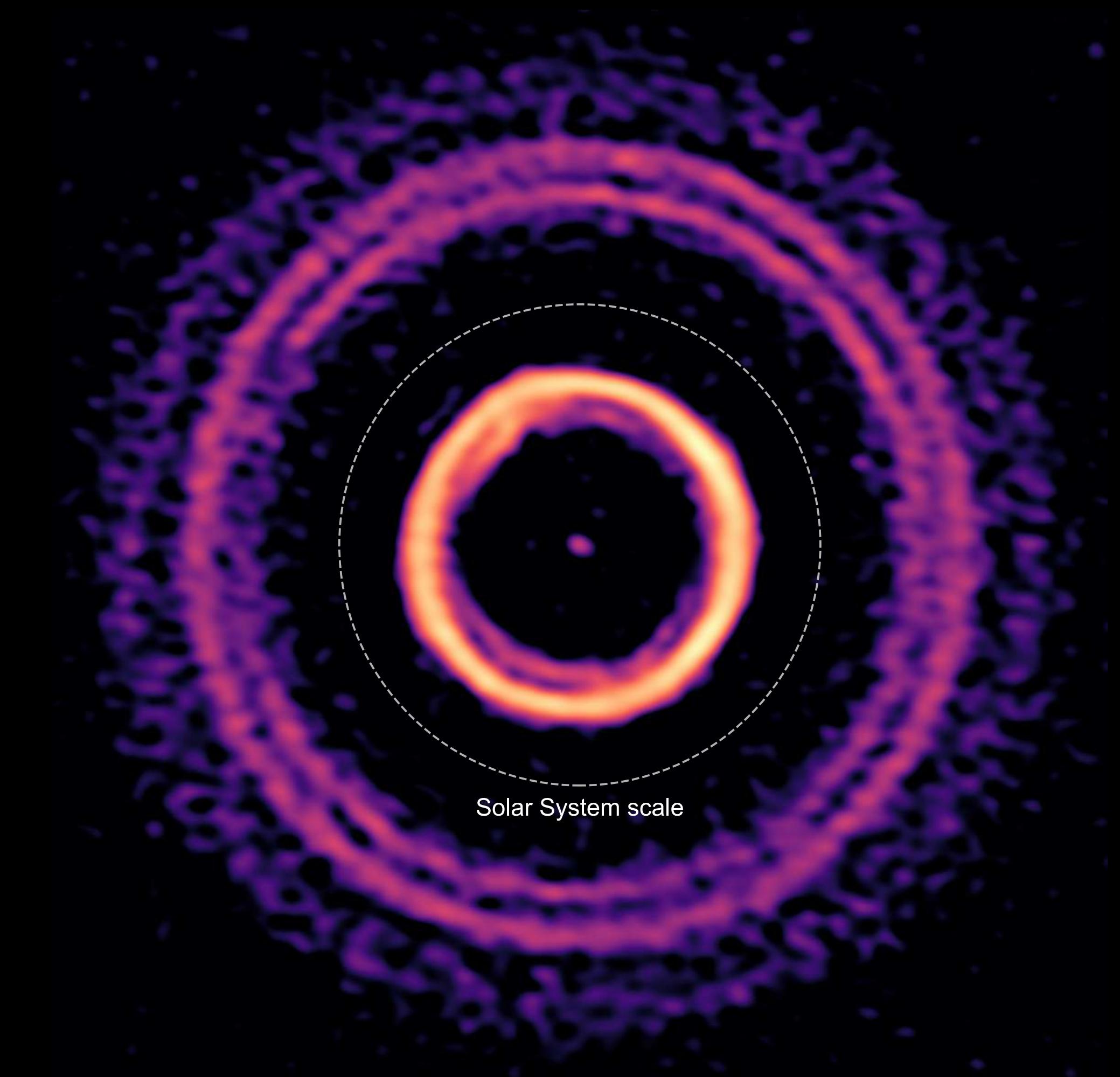
La huella de un planeta  
recién formado

# 2018/2019: Nuestra predicción fue confirmada por una observación ALMA



HD 97048 (Pinte et al. including Casassus and Pérez, 2019, *Nature Astronomy*)

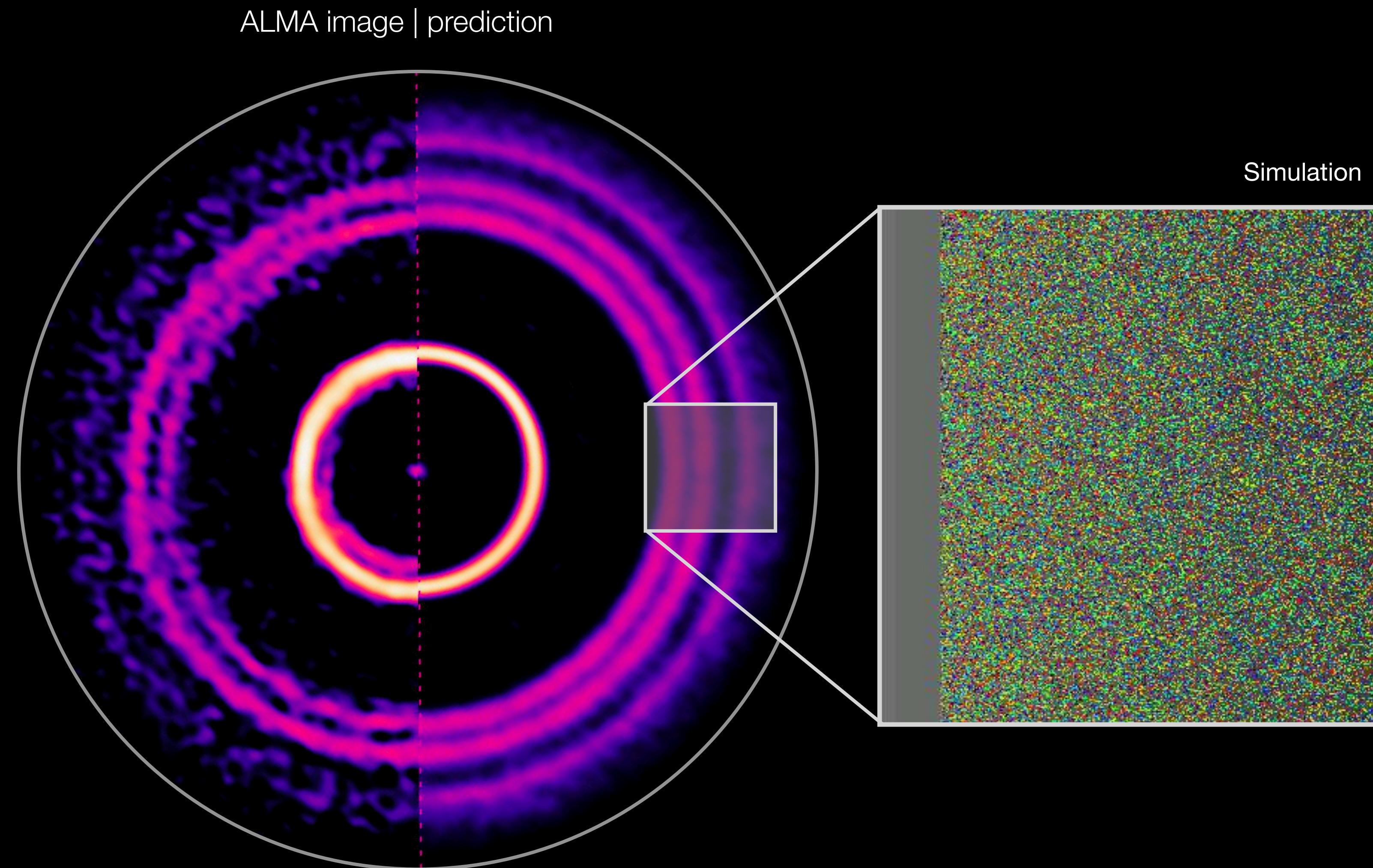
# 2019: planetas tipo super-Tierras también pueden esculpir anillos



The dust and gas are perturbed by a small planet sculpting the outer regions of a disk. The fine rings are composed of dust particles which are trapped into concentric structures by pressure waves.

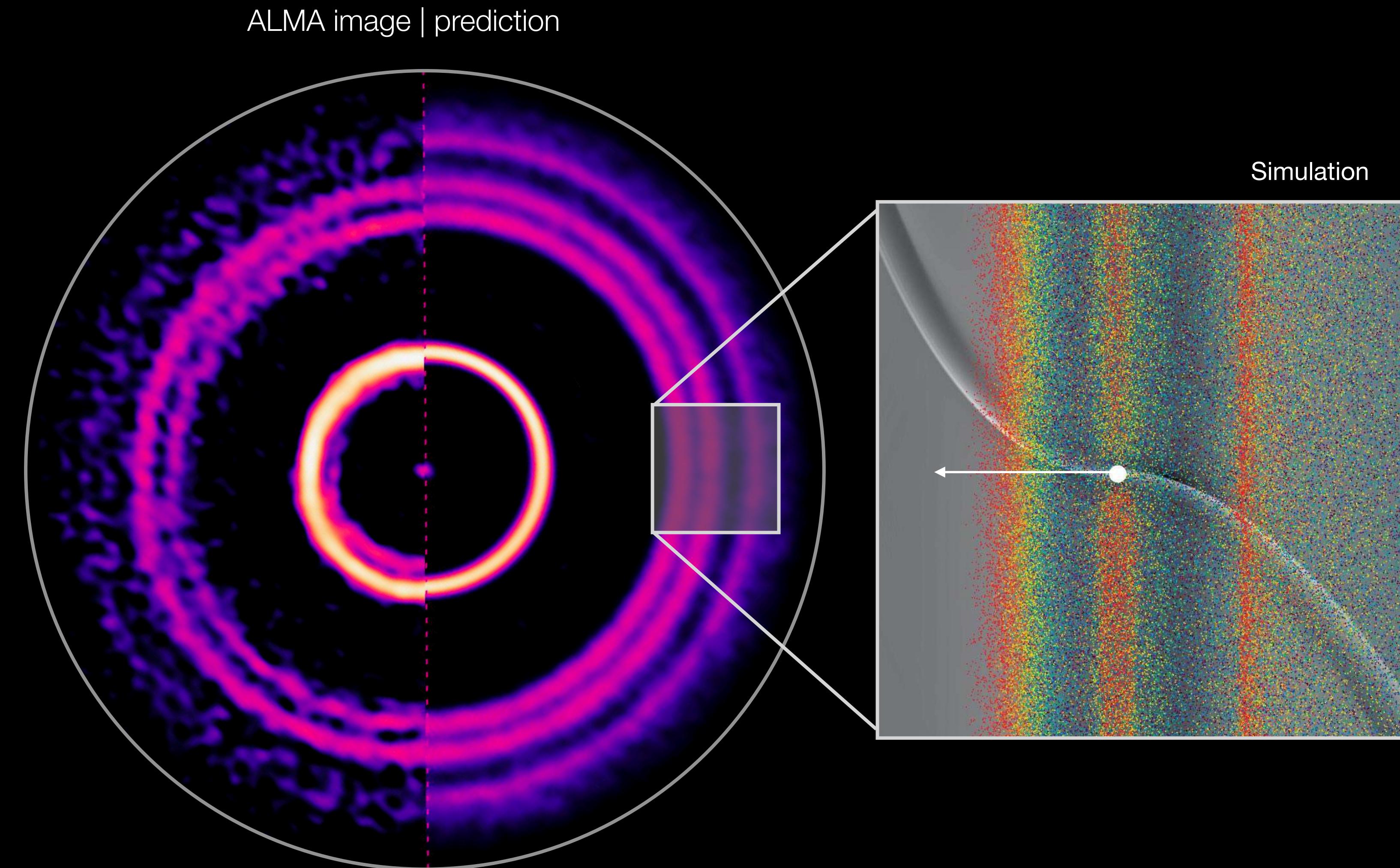
Adapted from Pérez et al. (2019)

# 2019: planetas tipo super-Tierras también pueden esculpir anillos



Adapted from Pérez et al. (2019)

# 2019: planetas tipo super-Tierras también pueden esculpir anillos



Primera evidencia de migración del planeta.

Sebastián Pérez et al. (2019)



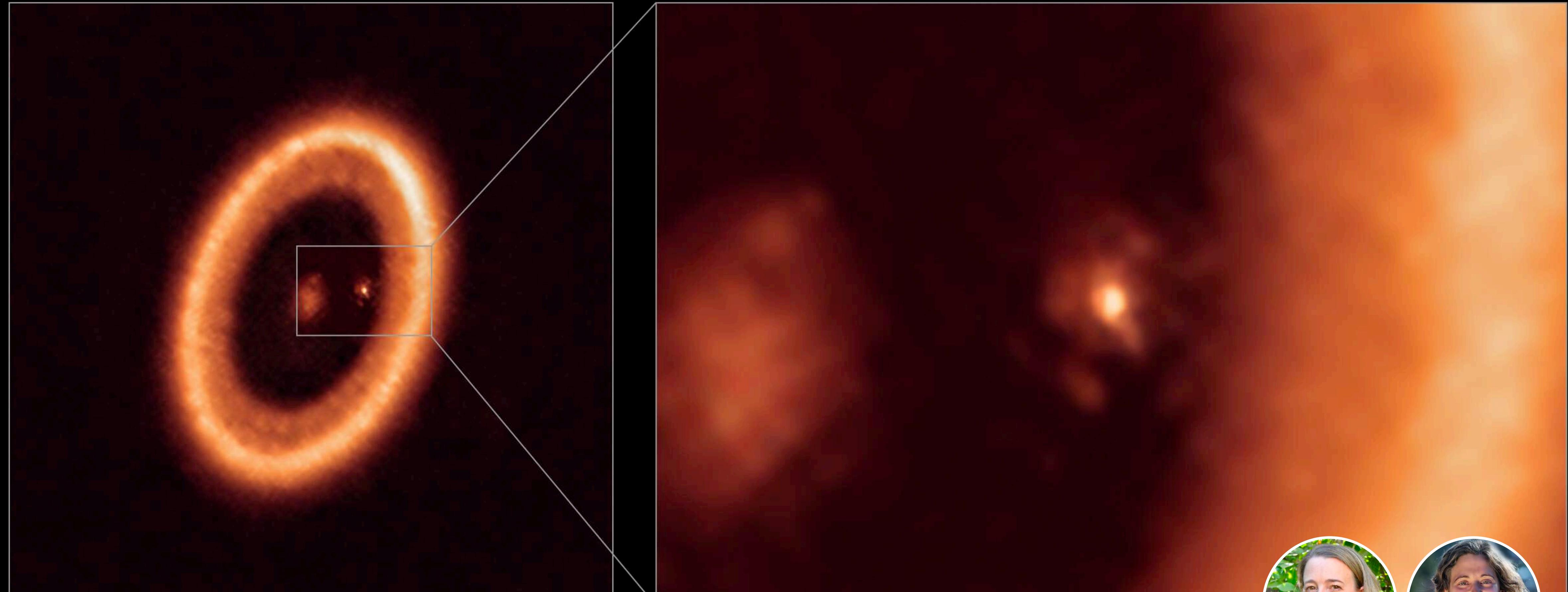
2020: Pandemia



**2021**

Por primera vez se detecta directamente un disco de polvo en torno a un planeta en formación!

...se estarán formando lunas en este lugar?



Benisty et al. (incluyendo a Alice Zurlo, 2021)

ESO/NRAO press release image, protoplanet has been magnified for the benefit of public outreach.

# Hitos

- 2011: Apertura de ALMA, Ciclo 0 comienza.
- 2013: Primeras trampas de polvo, asimetrías y vórtices!
- 2014: Anillos, estructuras finas, planetas mostrándose de forma indirecta
- 2015: Quiebre de un paradigma: los discos protoplanetarios no tienen por qué ser planos!
- 2016: Los discos pueden ser inestables y colapsar debido a su propia gravedad!
- 2017: ?
- 2018: ALMA puede ser un cazador de planetas!
- 2019: Se pueden formar super-Tierras lejos de la estrella, y luego migran!
- 2020: Pandemia.
- 2021: Primer disco de polvo (que podría formar lunas) en torno a un planeta en formación.

Pregunta para la próxima clase:  
¿Por qué el cielo es oscuro?