

FARGO3D - Simulaciones hidrodinámicas

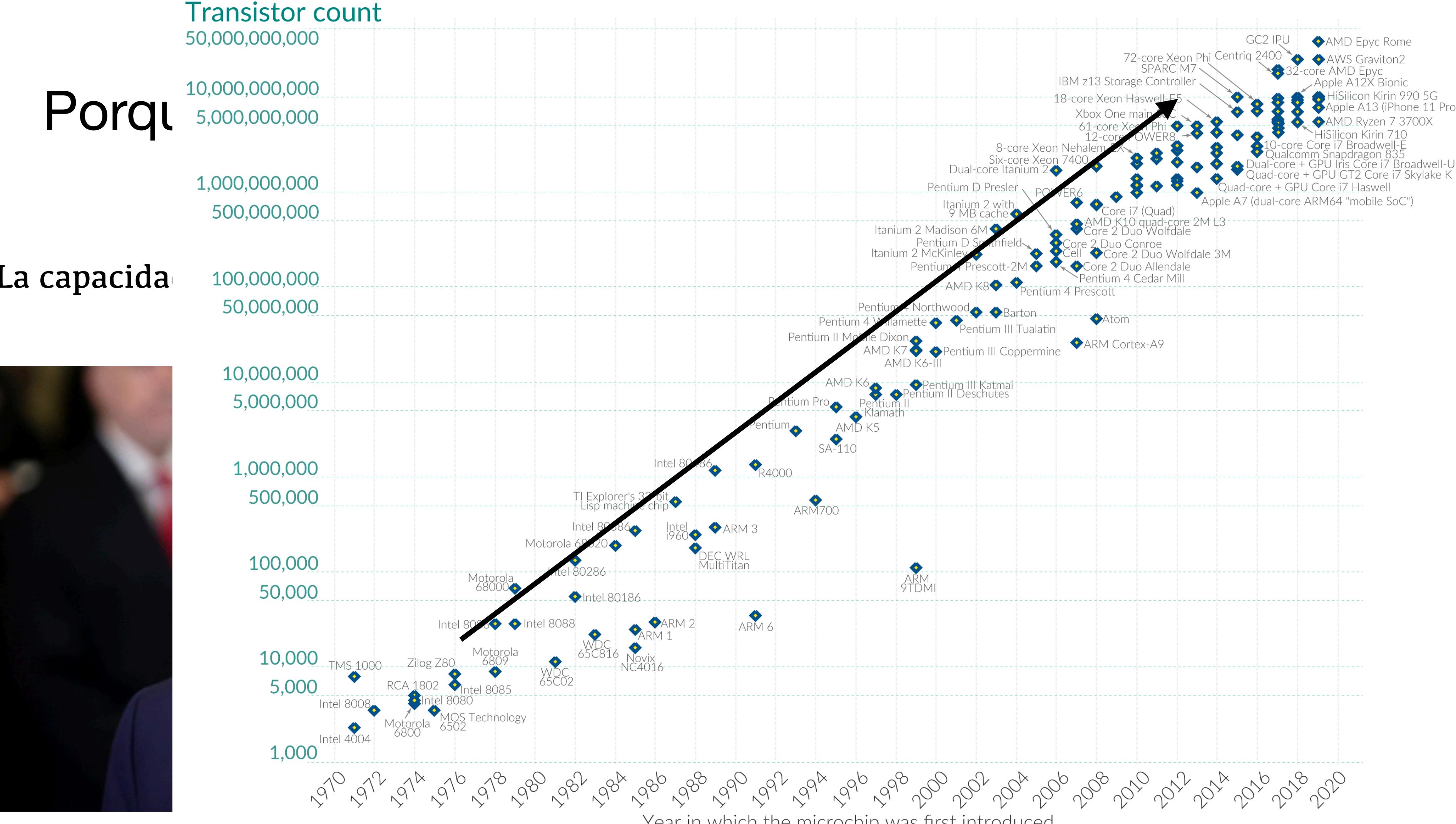
Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years Our World

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computer

Our World in Data

Porql

La capacidad



Data source: Wikipedia ([wikipedia.org/wiki/Transistor_count](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Transistor_count&oldid=1000000000))

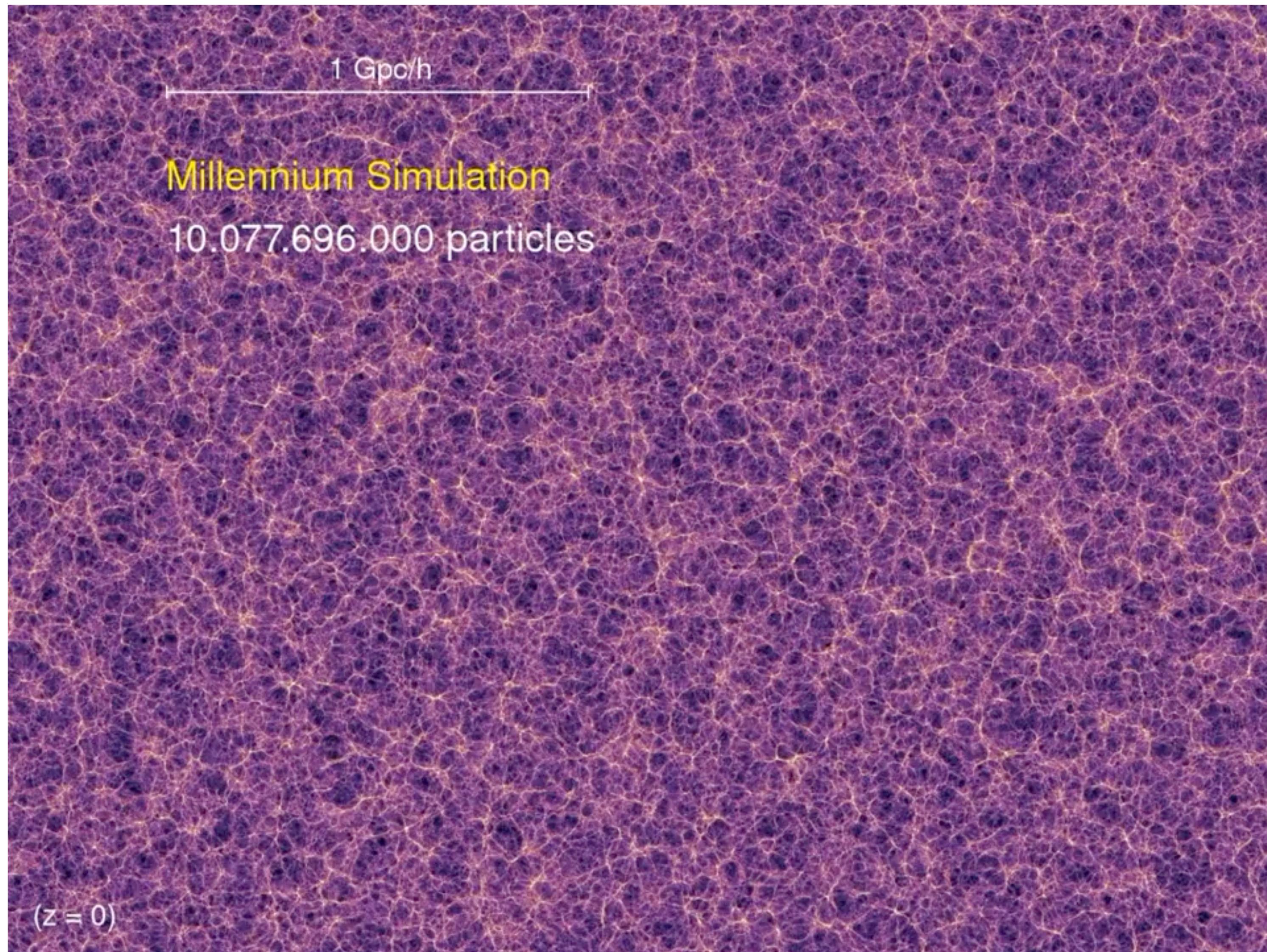
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

This vertical strip features a complex, organic pattern of swirling, translucent colors. The colors transition through various shades of blue, purple, and black, creating a sense of depth and movement. The overall effect is abstract and atmospheric, resembling a celestial body or a microscopic view of a fluid substance.

Ejemplos

Formación de estructuras
en el universo



Ejemplos

Formación de estrellas



Ejemplos

Supernova 1987A



Hidrodinámica en el espacio

Conservación de masa

$$\partial_t \rho + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

Conservación del momento

$$\partial_t \vec{v} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} P - \vec{\nabla} \phi + \dots$$

Conservación de energía

$$\partial_t e + \vec{\nabla} \cdot (e \vec{v}) = -P \vec{\nabla} \cdot \vec{v} + \dots$$

Hidrodinámica en el espacio

Conservación de masa

$$\partial_t \rho + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

Conservación del momento

$$\partial_t \vec{v} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} P - \vec{\nabla} \phi + \dots$$

Conservación de energía

$$\partial_t e + \vec{\nabla} \cdot (e \vec{v}) = -P \vec{\nabla} \cdot \vec{v} + \dots$$

¿Por qué es tan complicado resolver estas ecuaciones analíticamente?

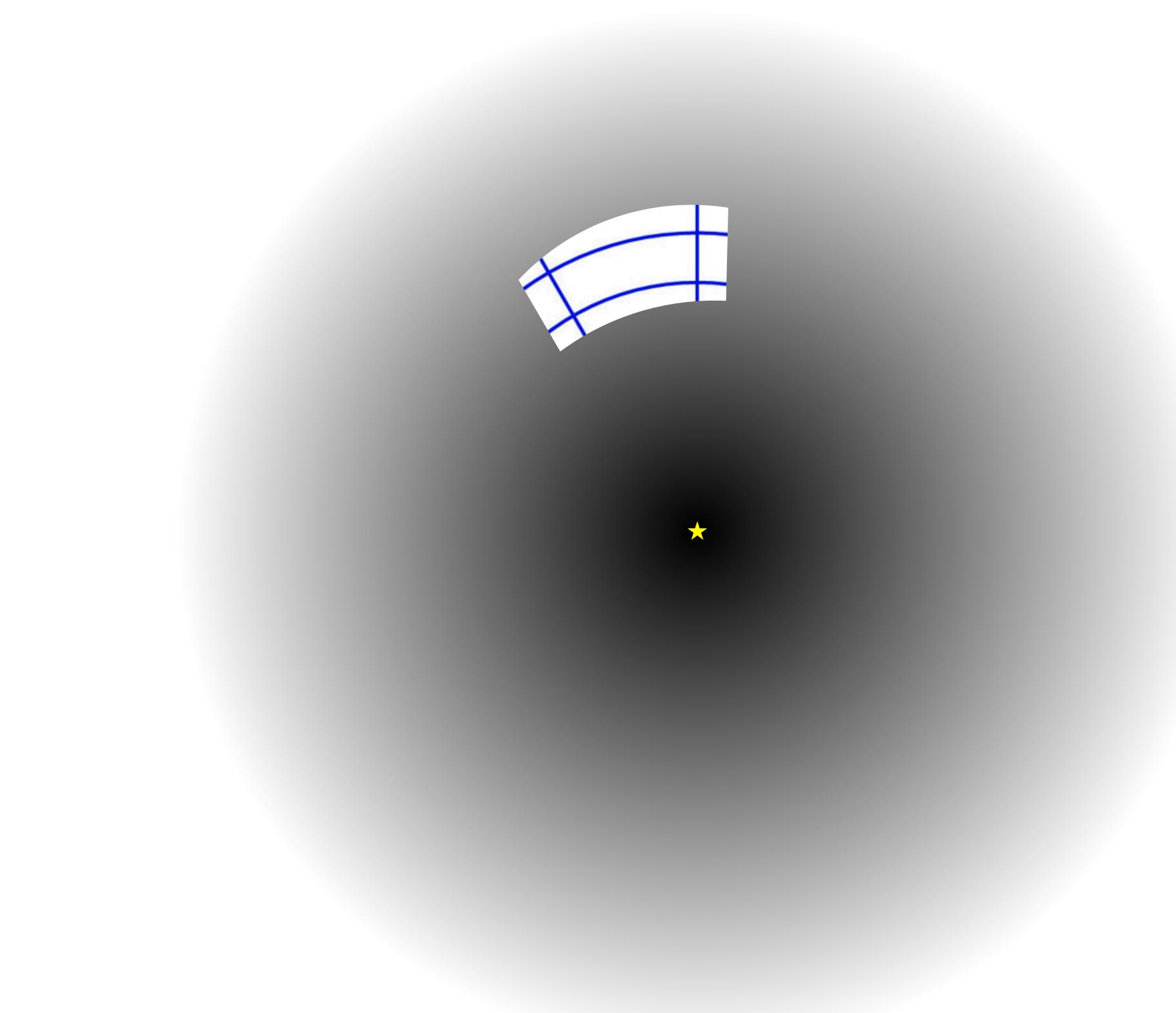
1. Son no lineales
2. Hay muchas variables interdependientes

$$\partial_t \rho + \overrightarrow{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$

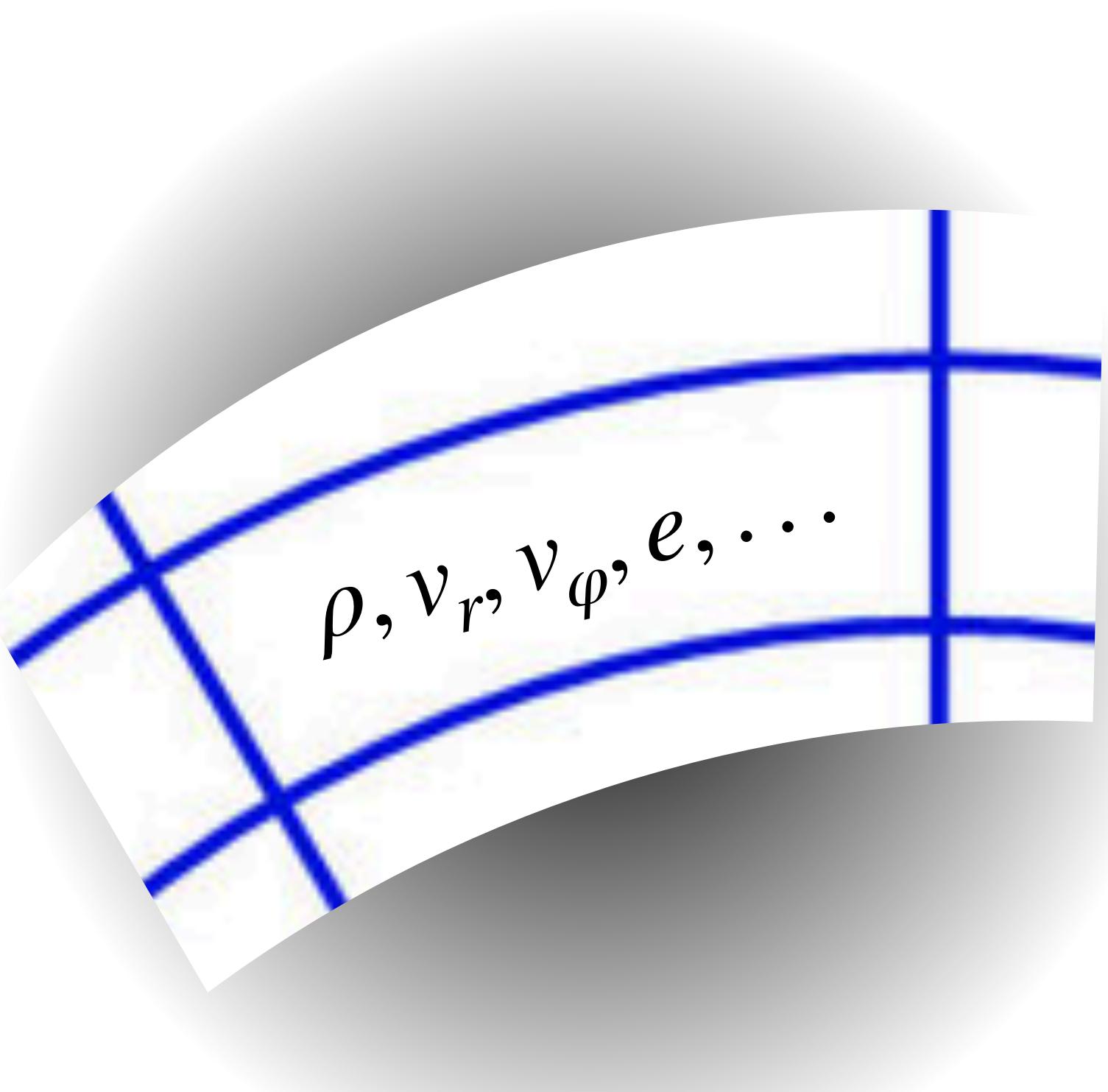
$$\partial_t \vec{v} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\nabla}) \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \overrightarrow{\nabla} P - \overrightarrow{\nabla} \phi$$

$$\partial_t e + \overrightarrow{\nabla} \cdot (e \vec{v}) = -P \overrightarrow{\nabla} \cdot \vec{v}$$

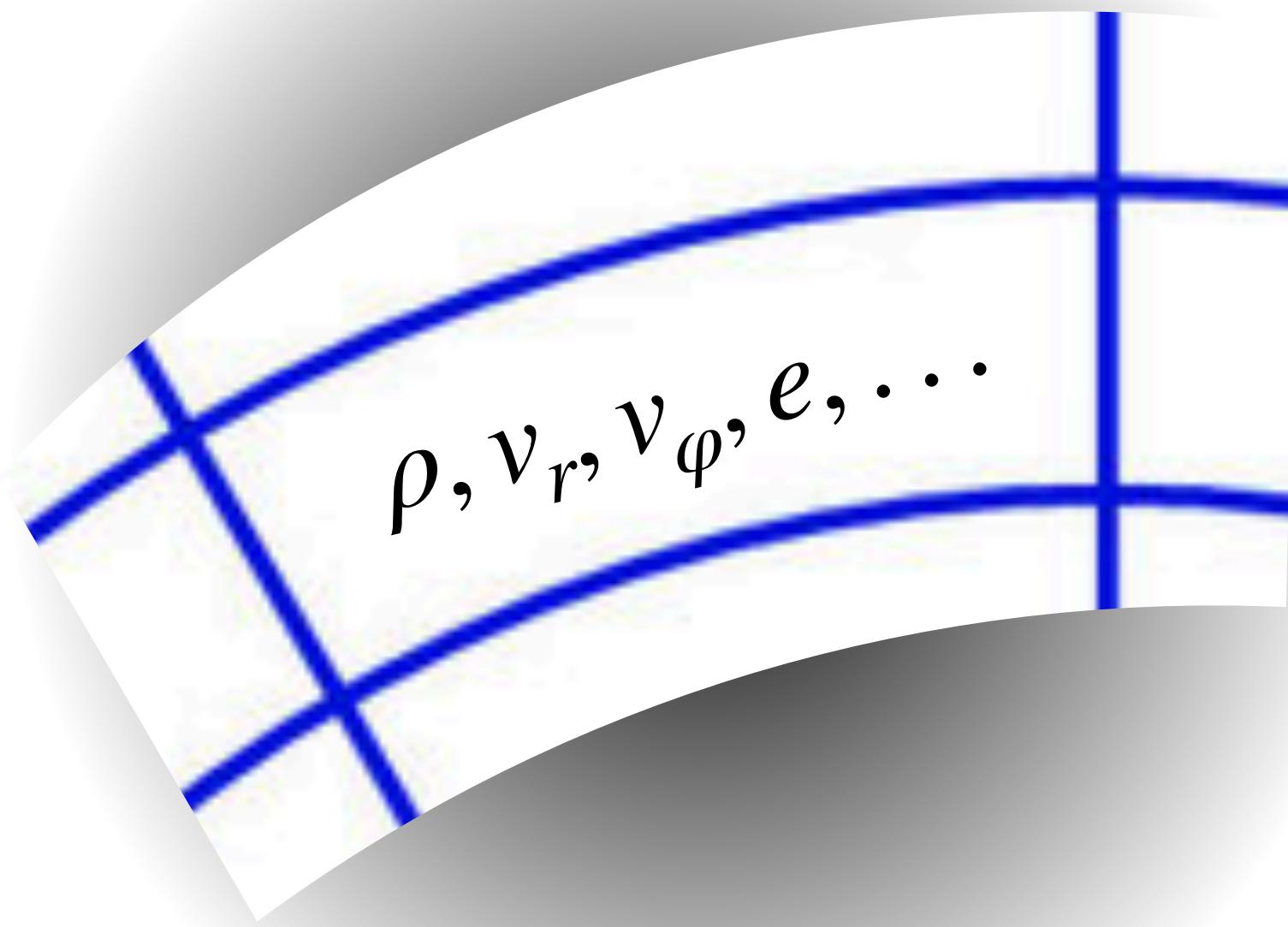
Continuo -> Discretizar



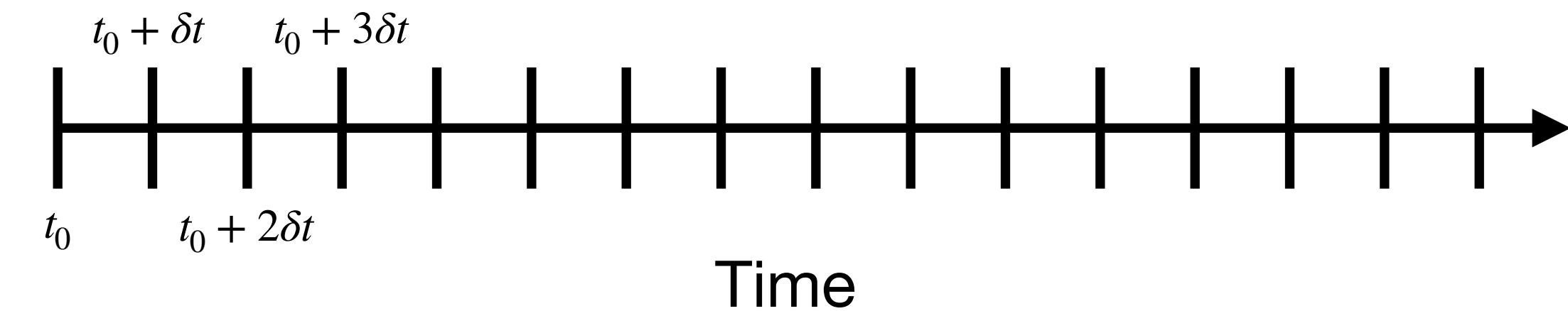
Continuo -> Discretizar



Continuo -> Discretizar



El mismo temporal:



En cada paso de tiempo tenemos que actualizar las cantidades en cada celda

Entonces, que pasa con las ecuaciones?

Continuo

$$\partial_t \rho + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0$$



Discreto

$$\frac{\rho_{t+1} - \rho_t}{\delta t} + \frac{(v\rho)_{x+1} - (v\rho)_x}{\delta x} = 0$$

$$\rho_{t+1} = \left(\rho_t - \frac{(v\rho)_{x+1} - (v\rho)_x}{\delta x} \right) \delta t$$

Como podemos saber que el código hace lo que queremos?

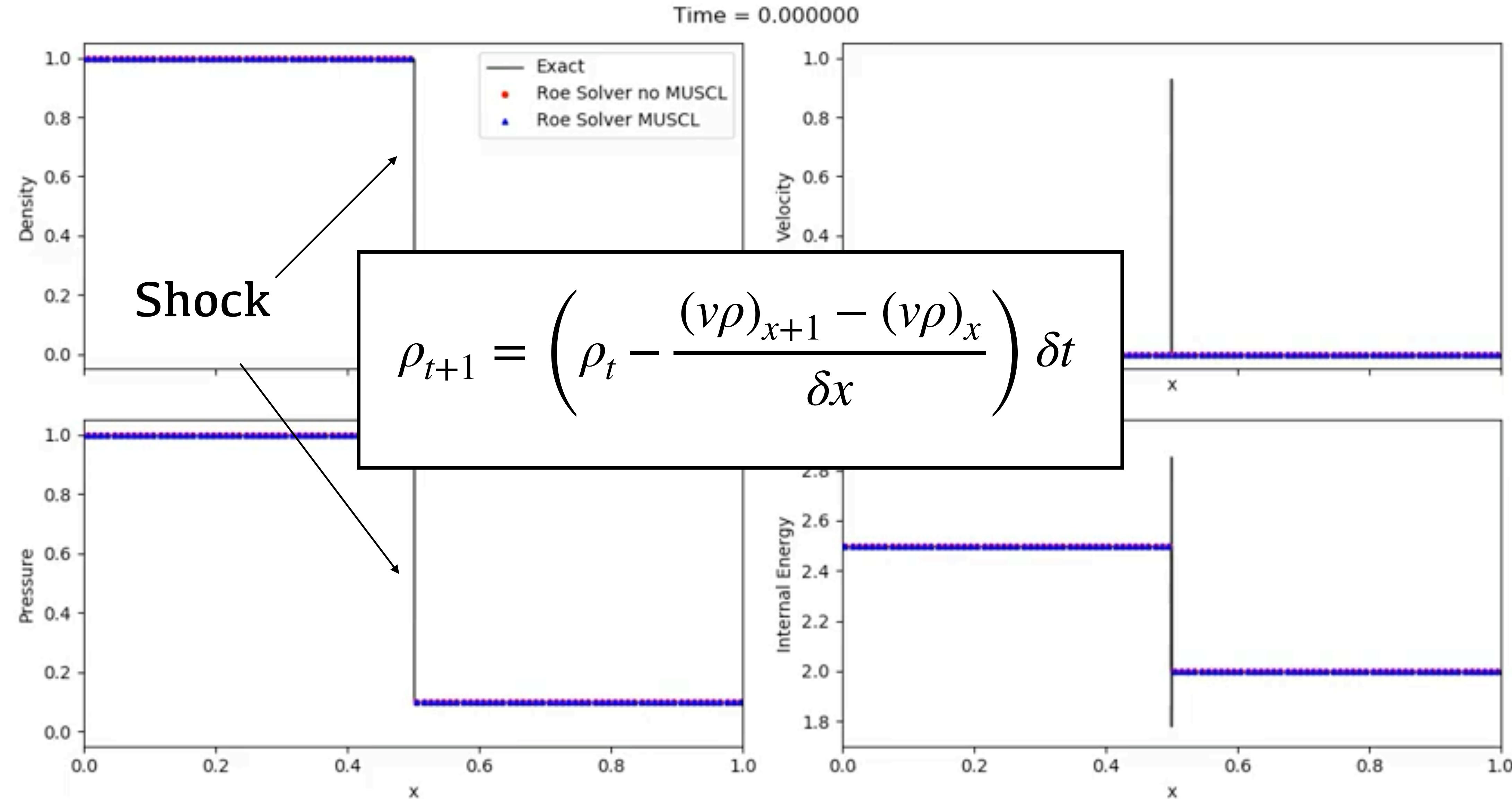
Como podemos saber que el código hace lo que queremos?

Veamos algunos problemas para los que
conocemos una solución analítica!

→ “Benchmarking” ~ “Evaluación comparativa”

Test: Analytical vs Numerical

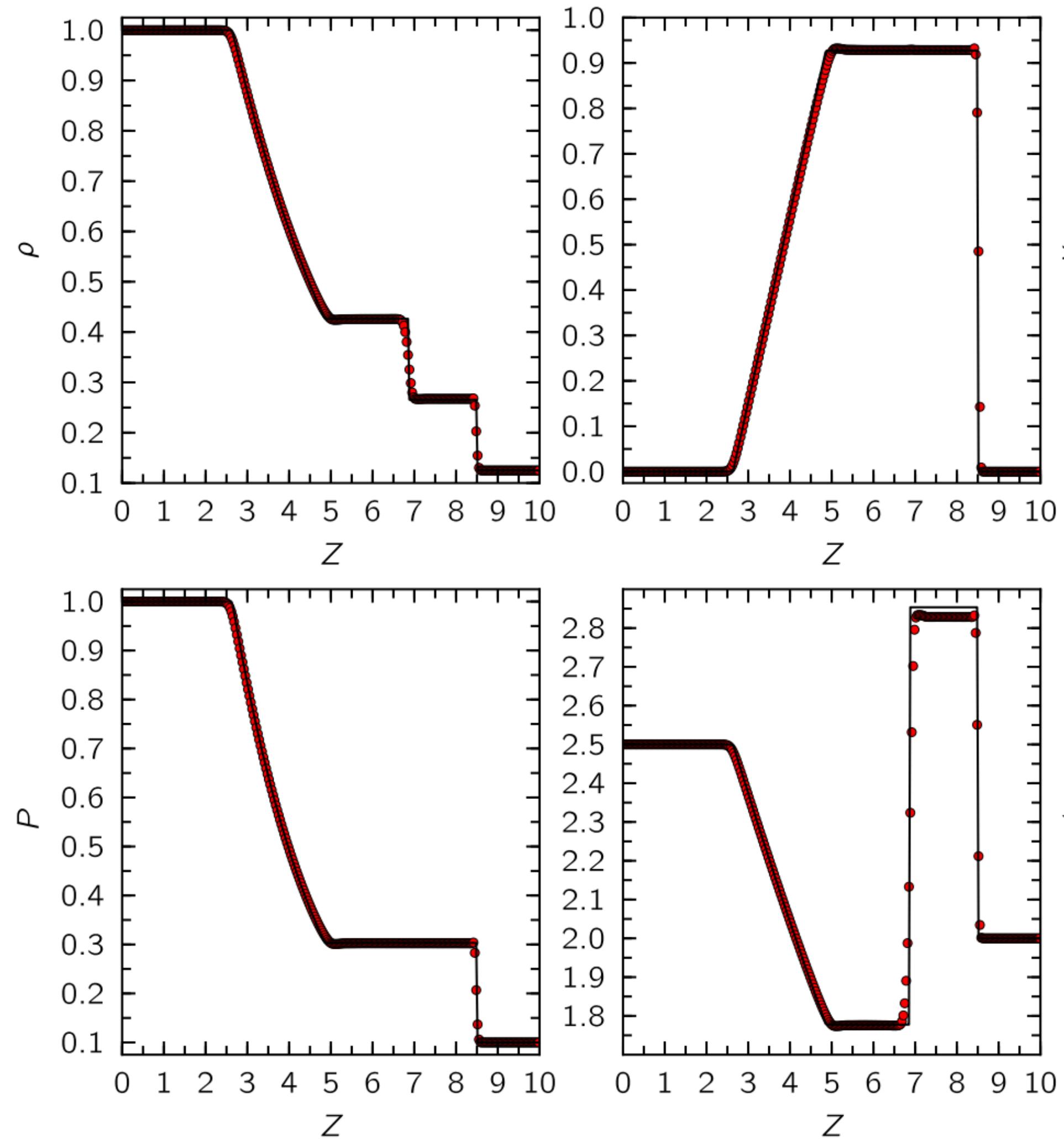
“Benchmarking” ~ “Evaluación comparativa”



Test: Analytical vs Numerical

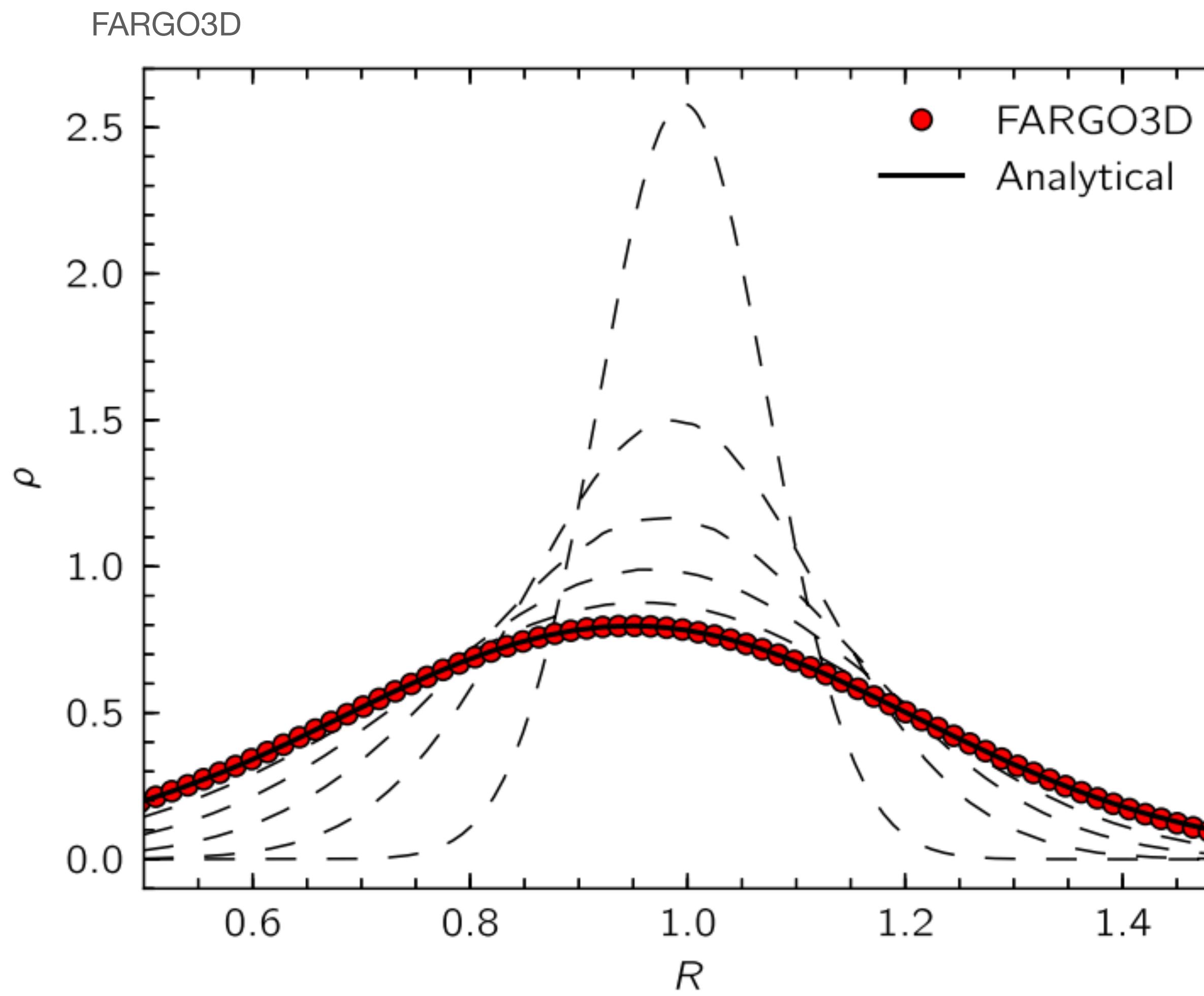
“Benchmarking” ~ “Evaluación comparativa”

FARGO3D

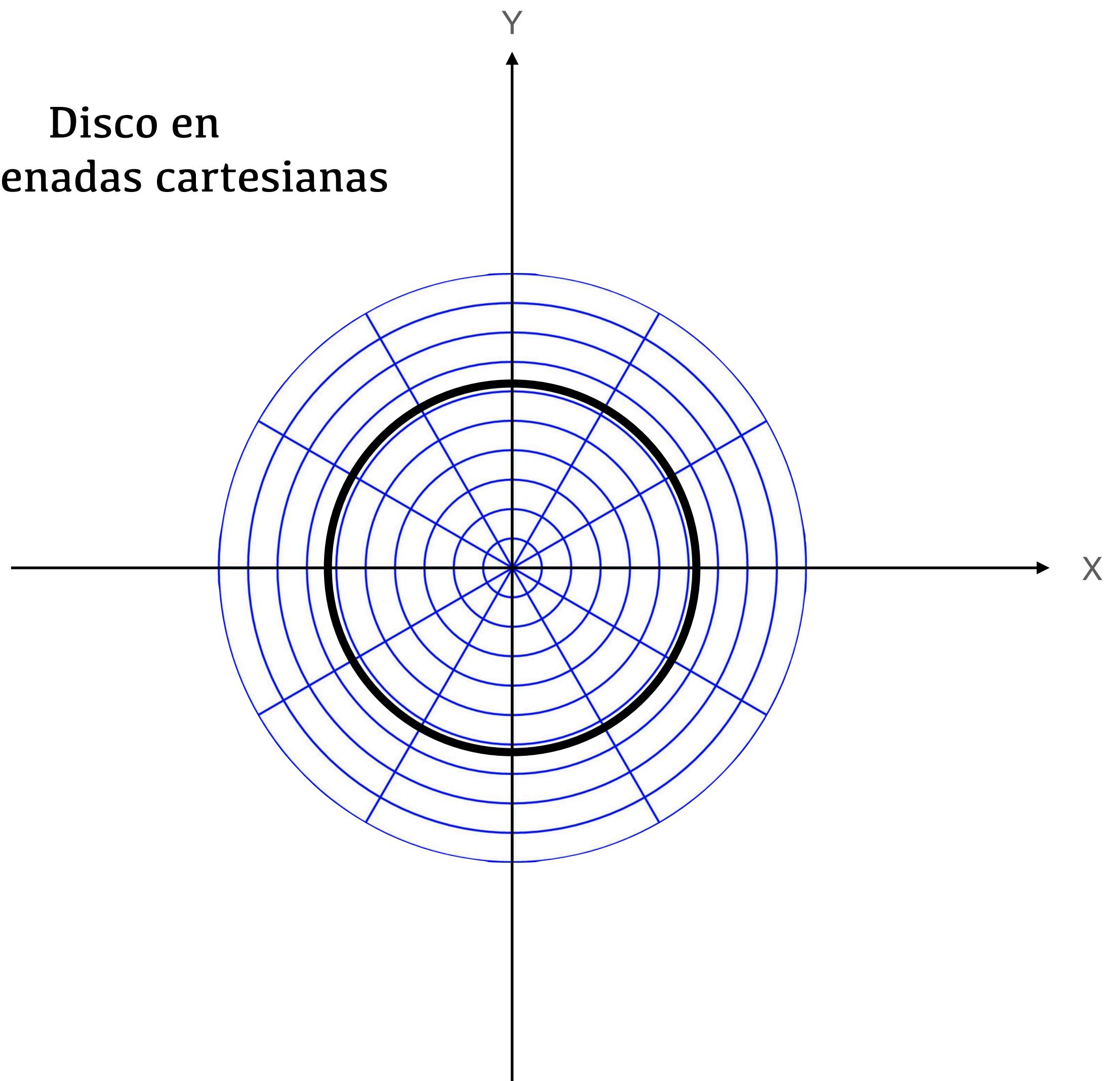


Test: Analytical vs Numerical

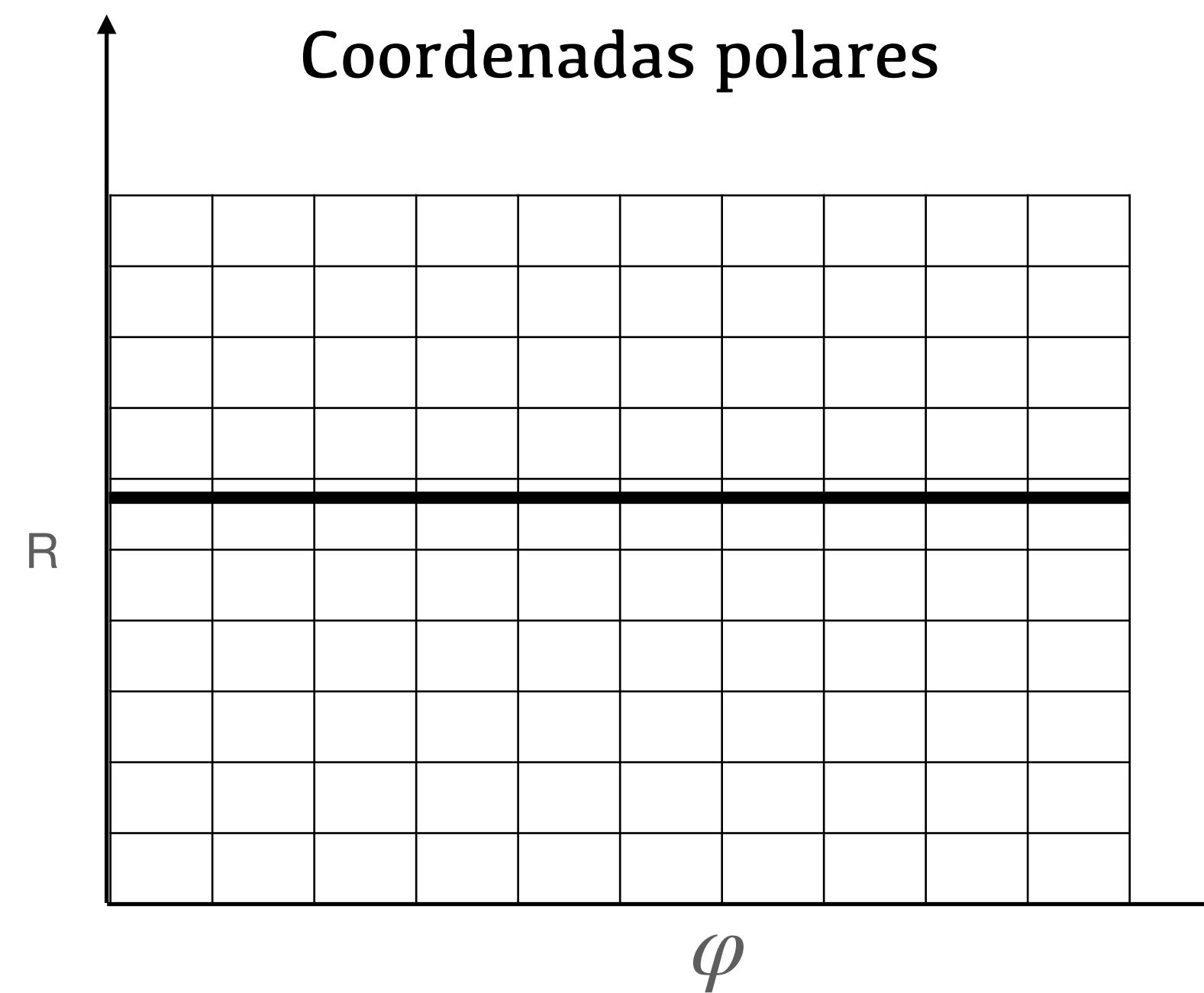
“Benchmarking” ~ “Evaluación comparativa”



Disco en
Coordenadas cartesianas

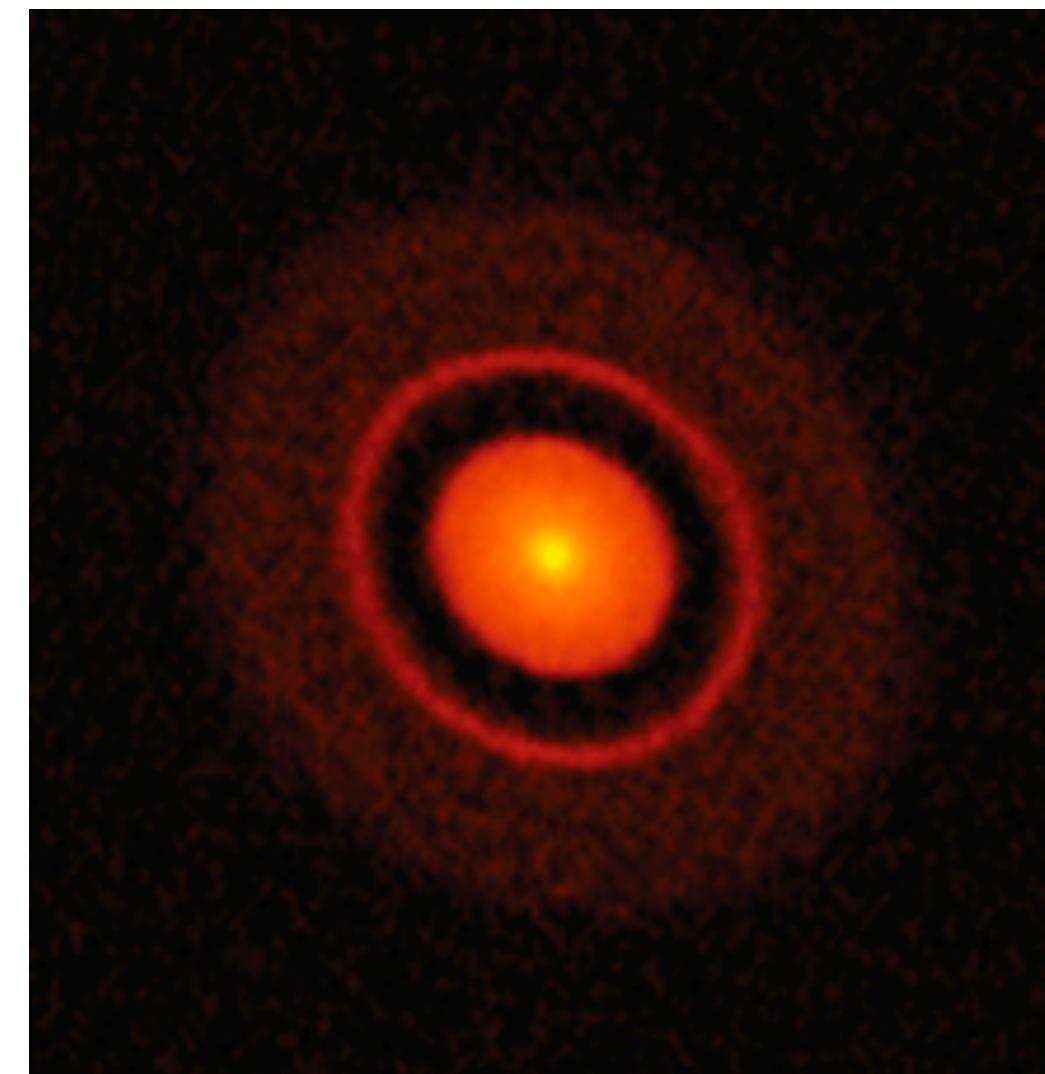
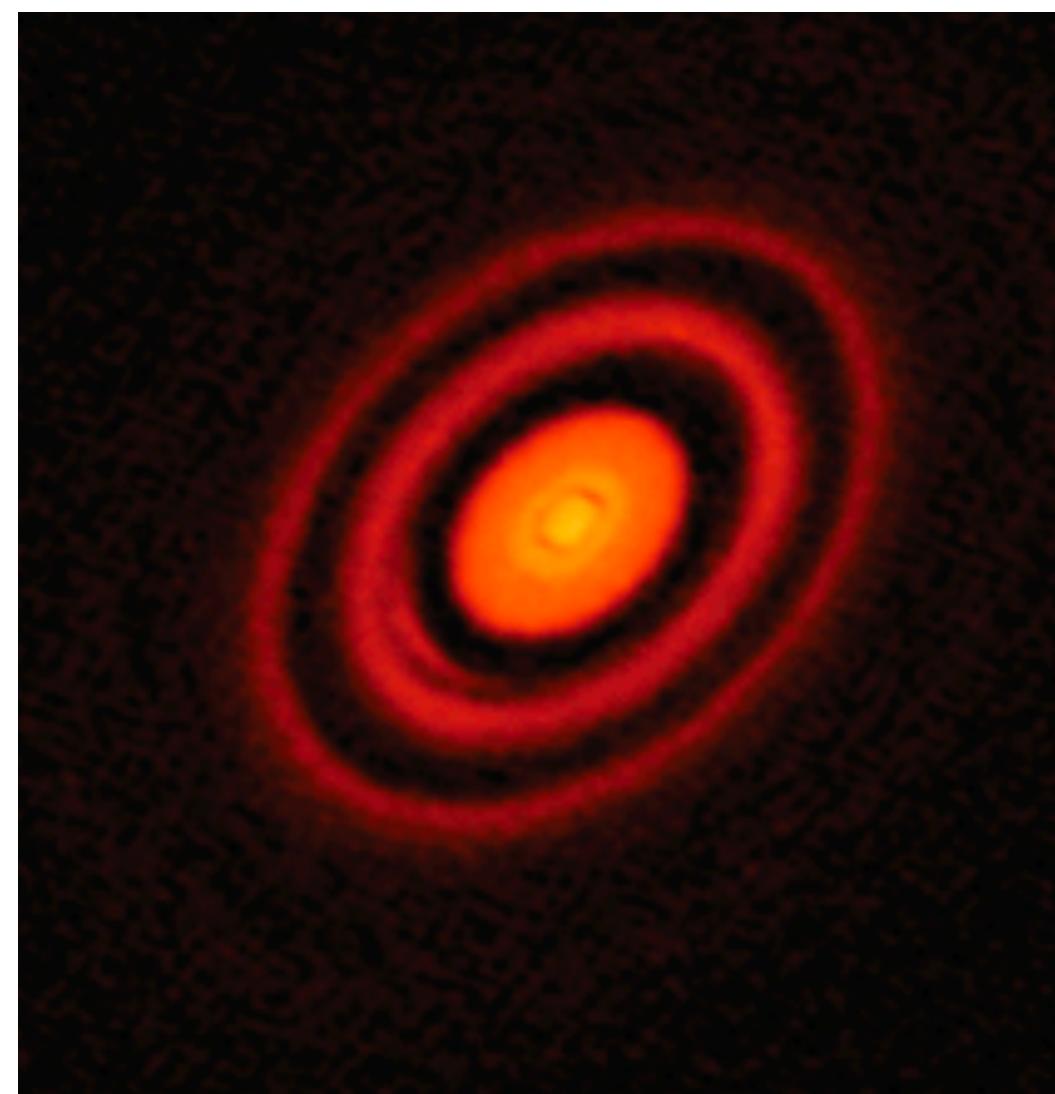
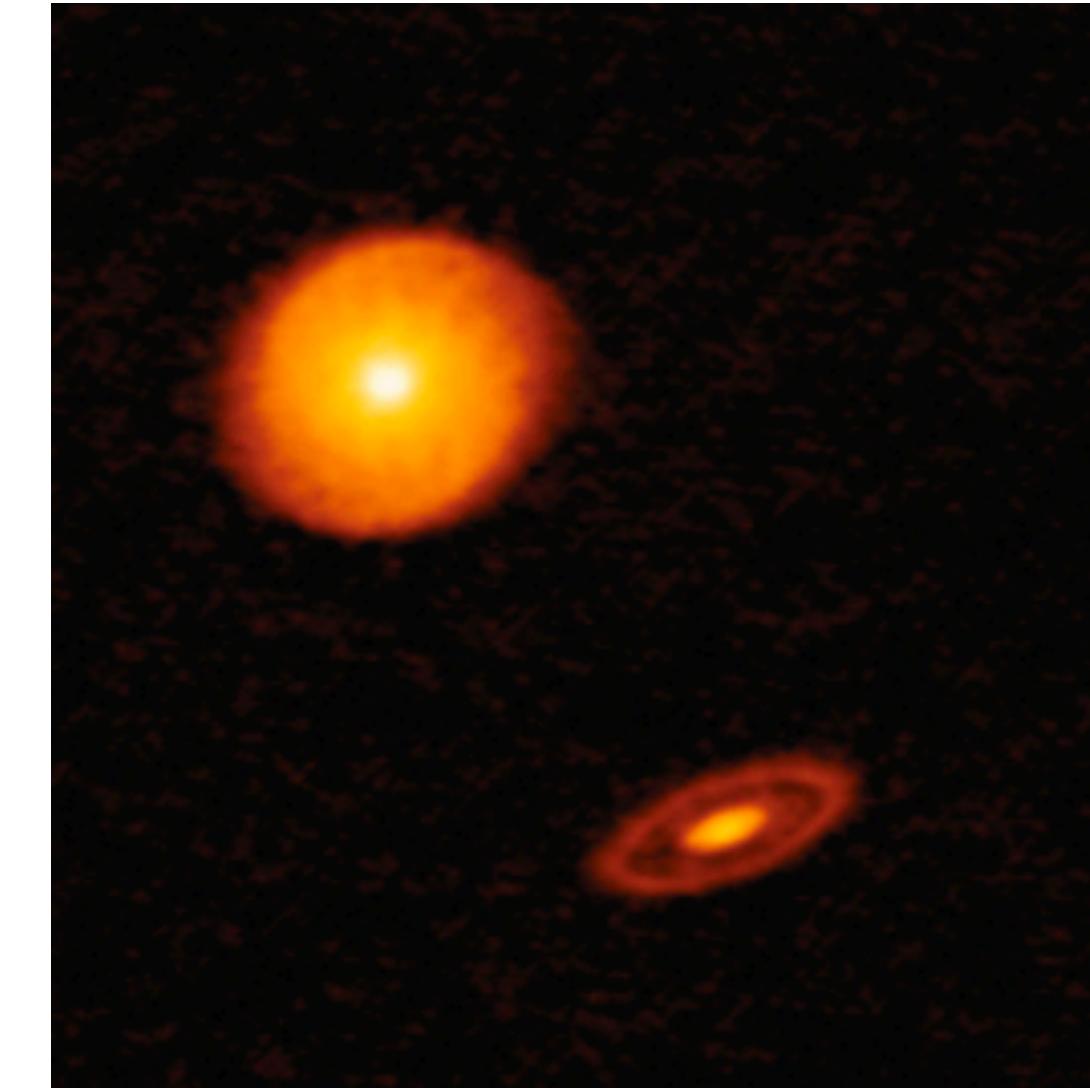
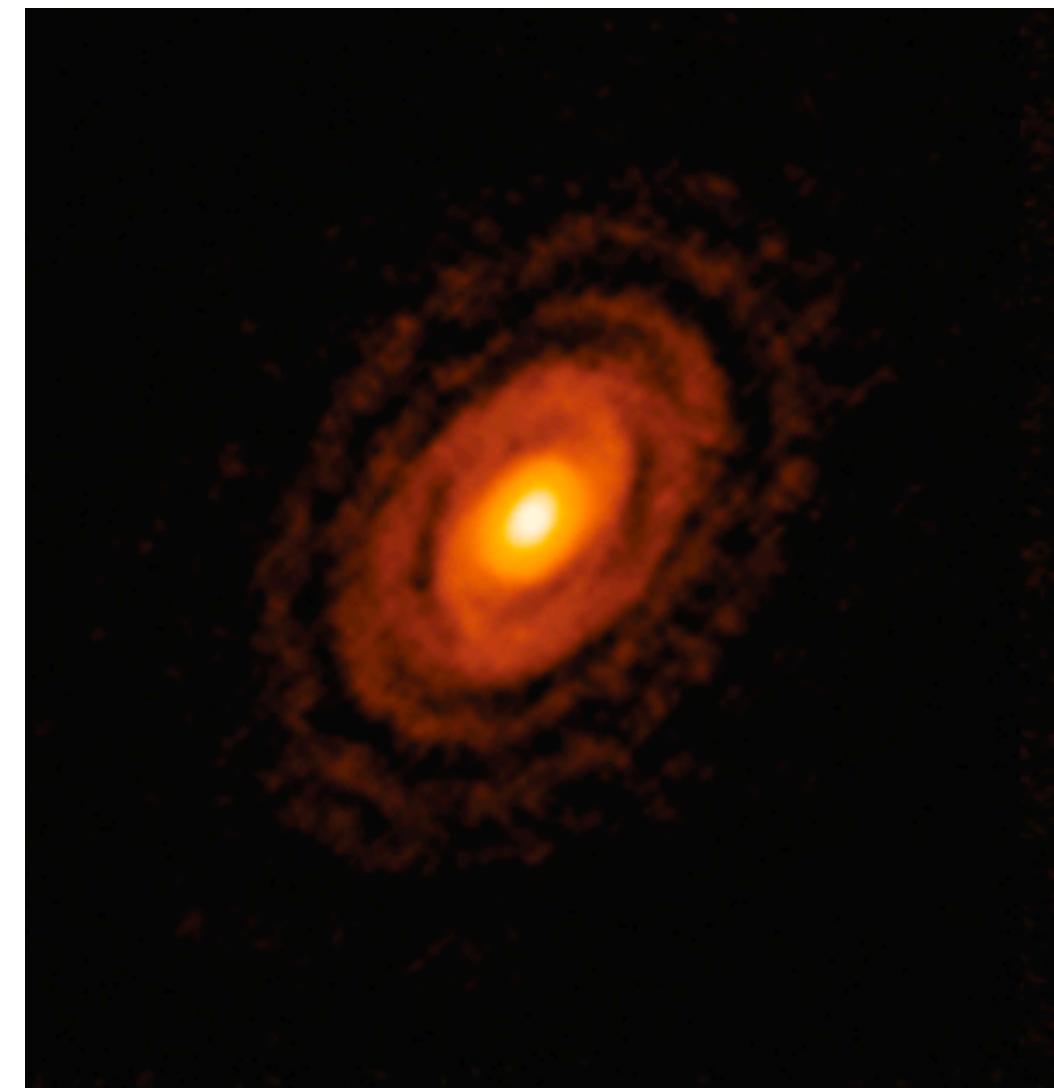
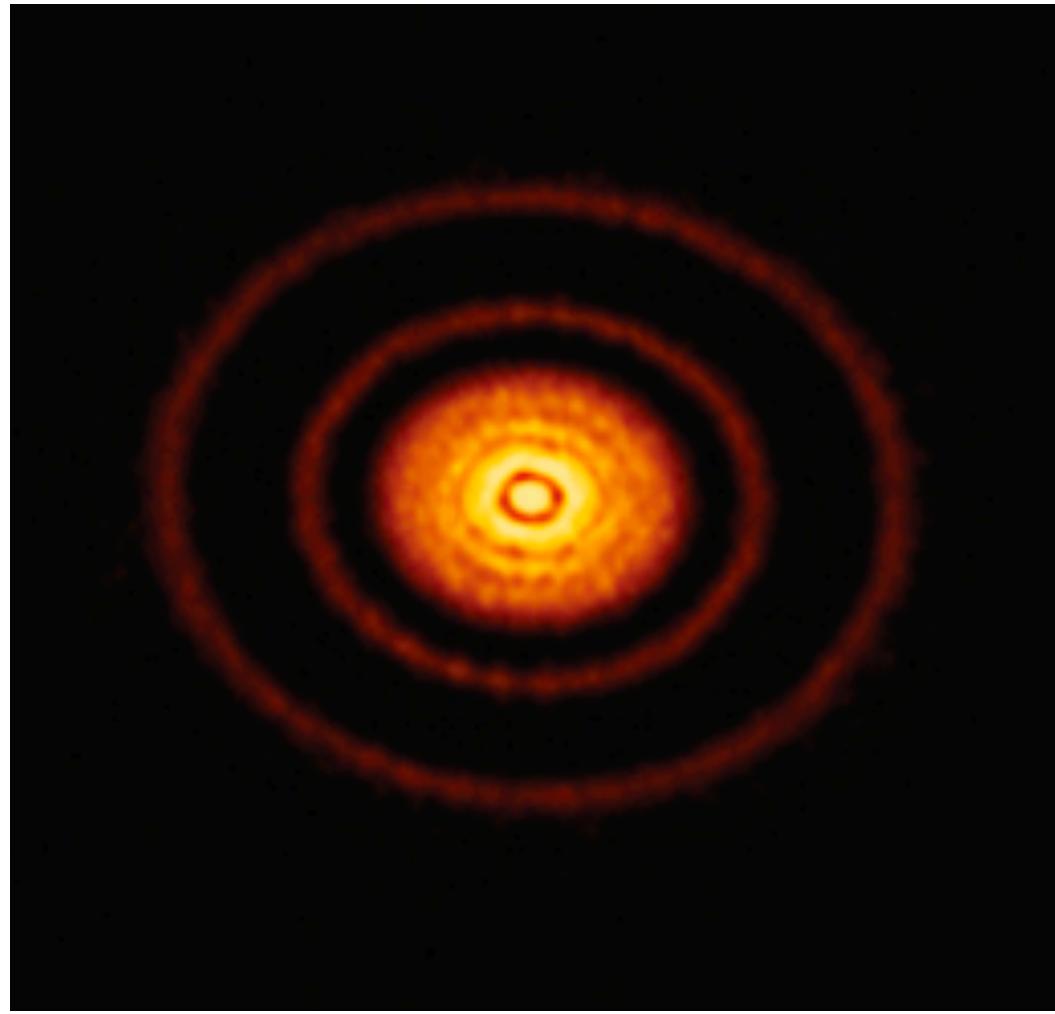


Disco en
Coordenadas polares

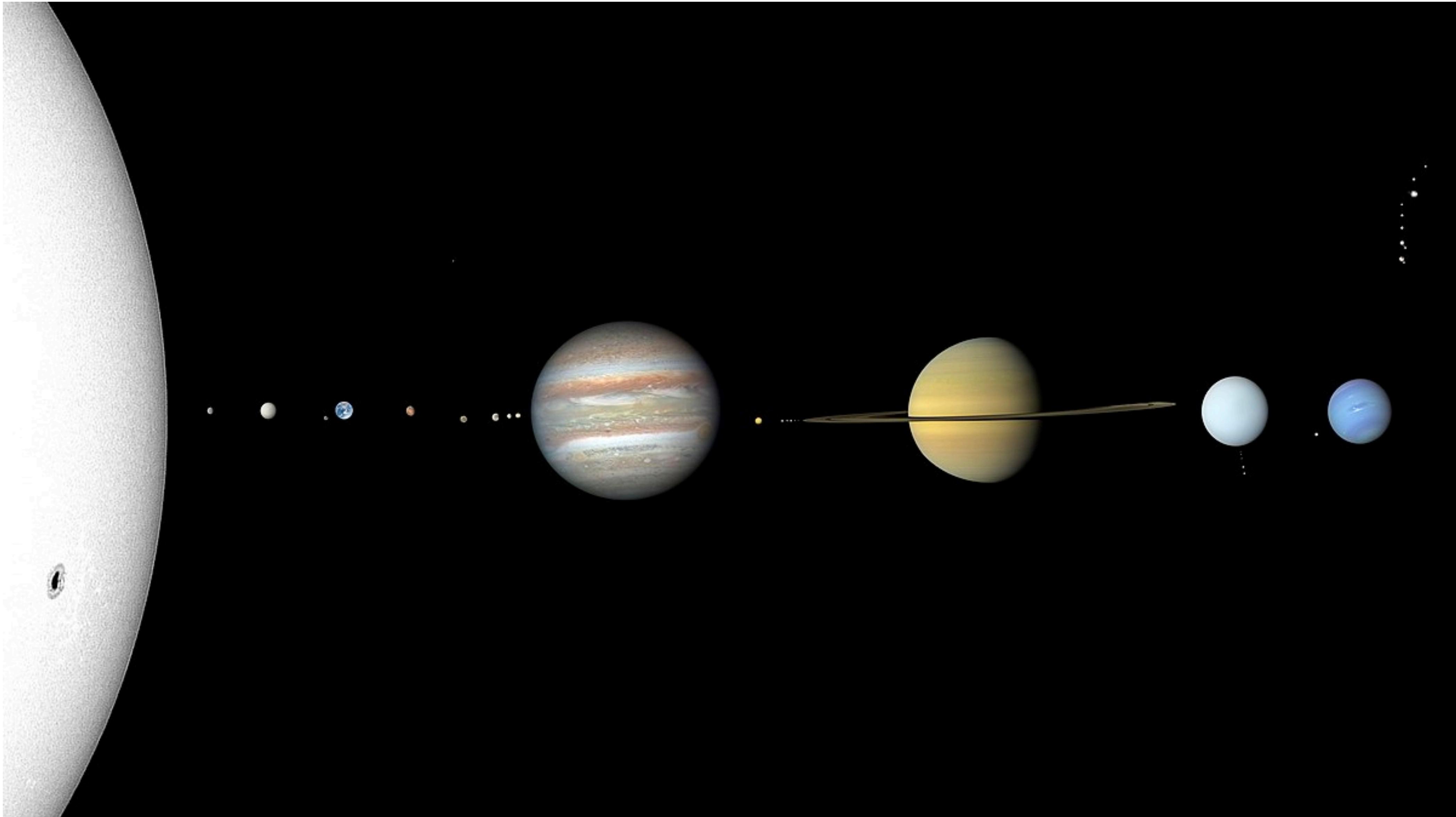


Motivación

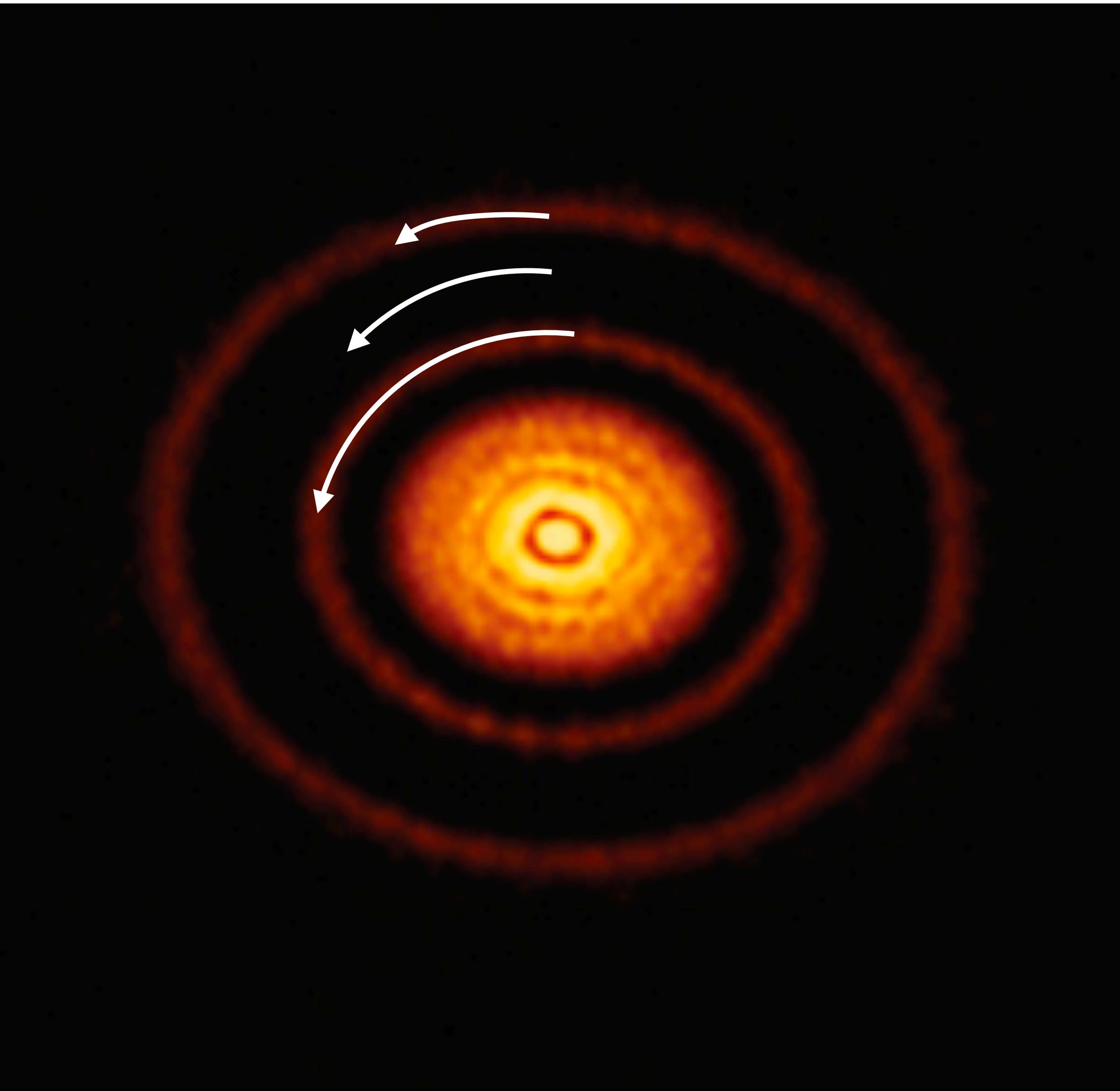
¿Podemos entender que está pasando allá?



Motivación ¿Podemos entender que estaba pasando aquí?



El disco protoplanetario:

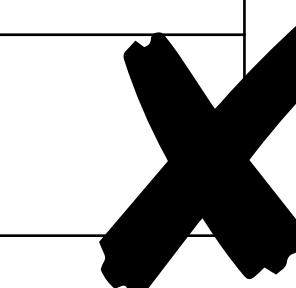
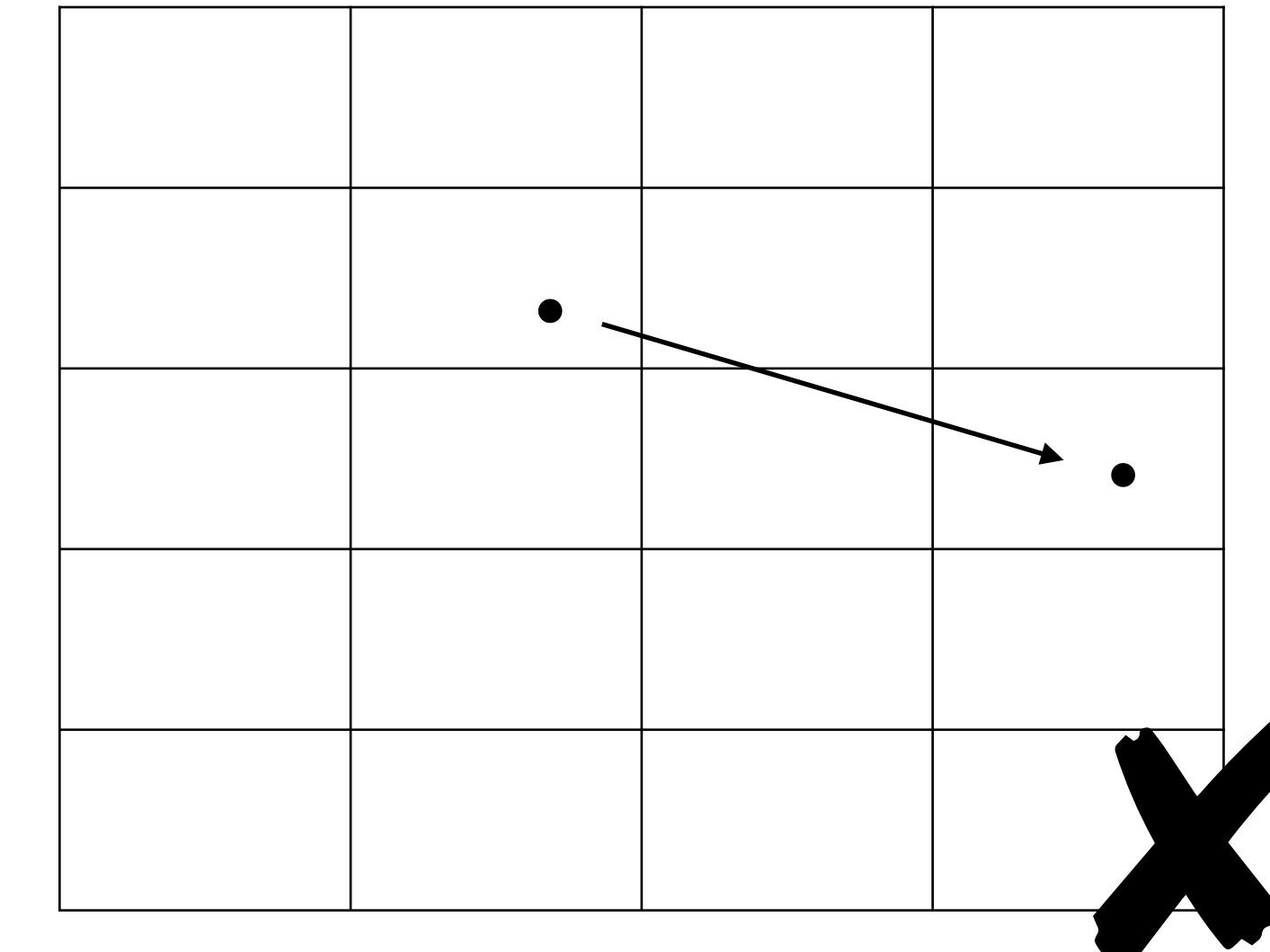
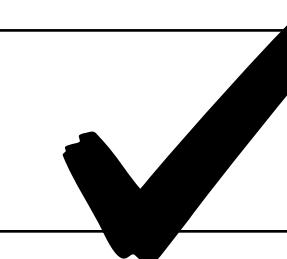
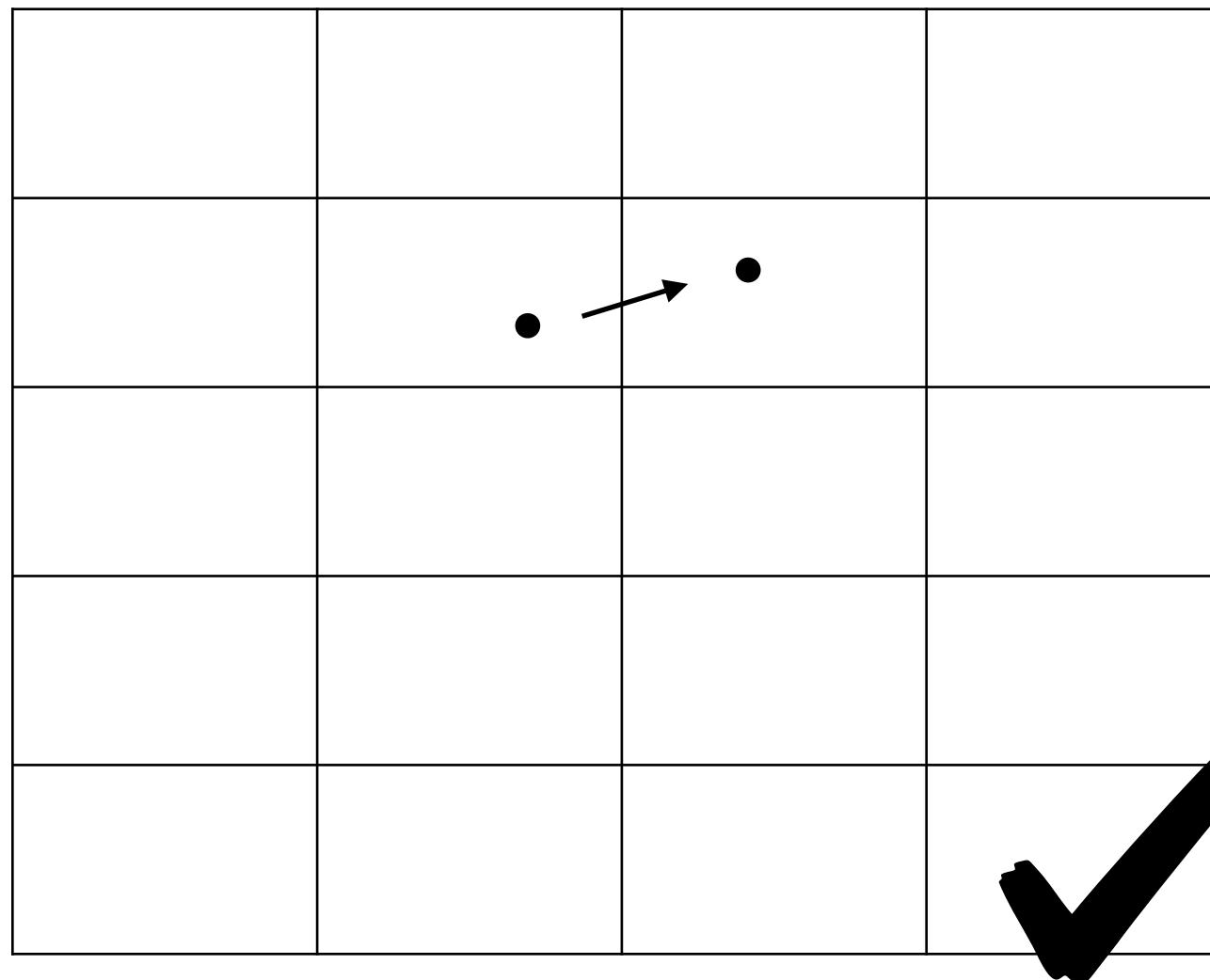


$$v_K = \sqrt{\frac{GM_\star}{r}}$$

El problema:

Para garantizar la estabilidad y la precisión, el paso temporal no puede ser demasiado grande.

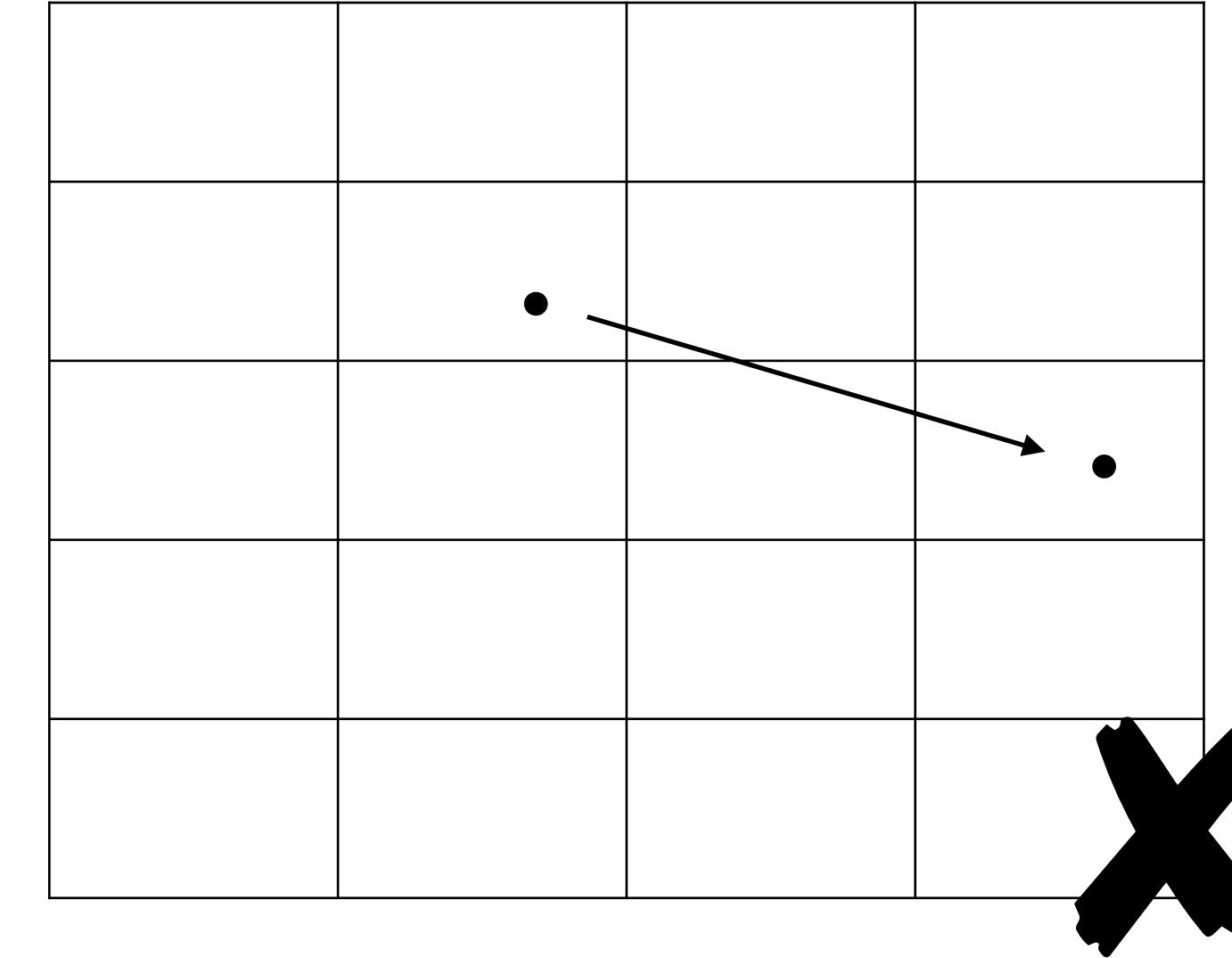
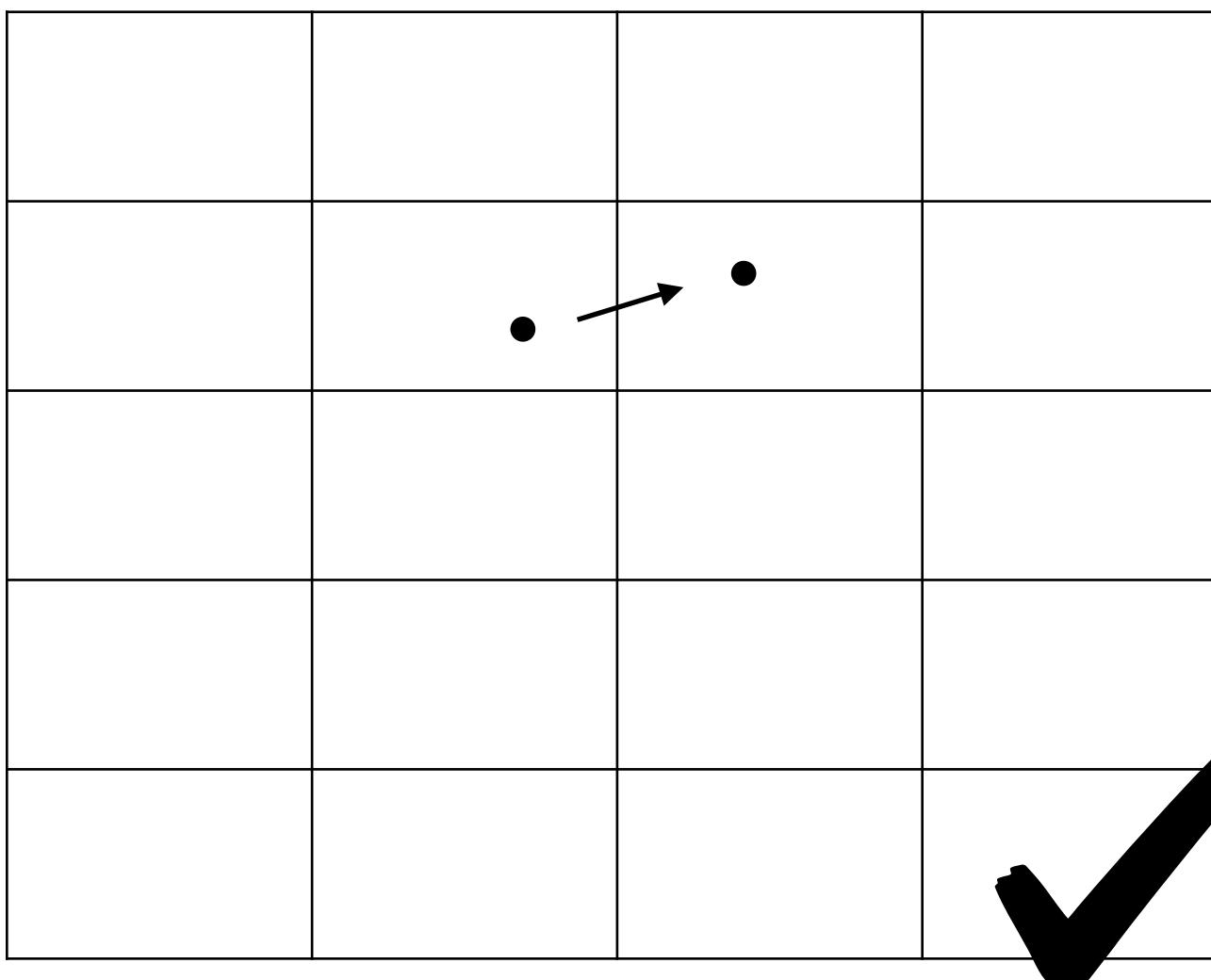
En la práctica, no podemos hacer avanzar el fluido más de una celda.



El problema:

Esto se expresa mediante la condición de Courant:

$$\frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

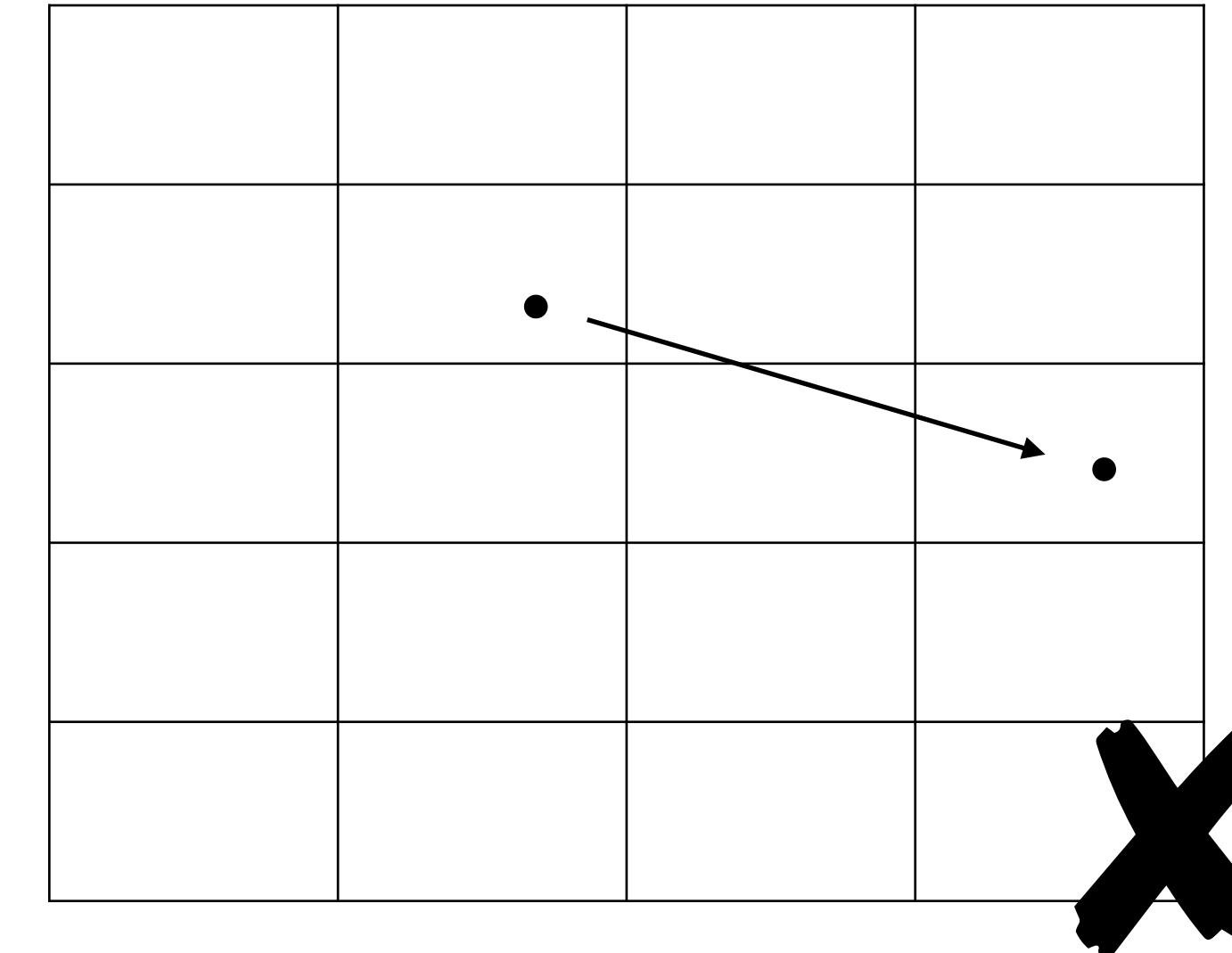
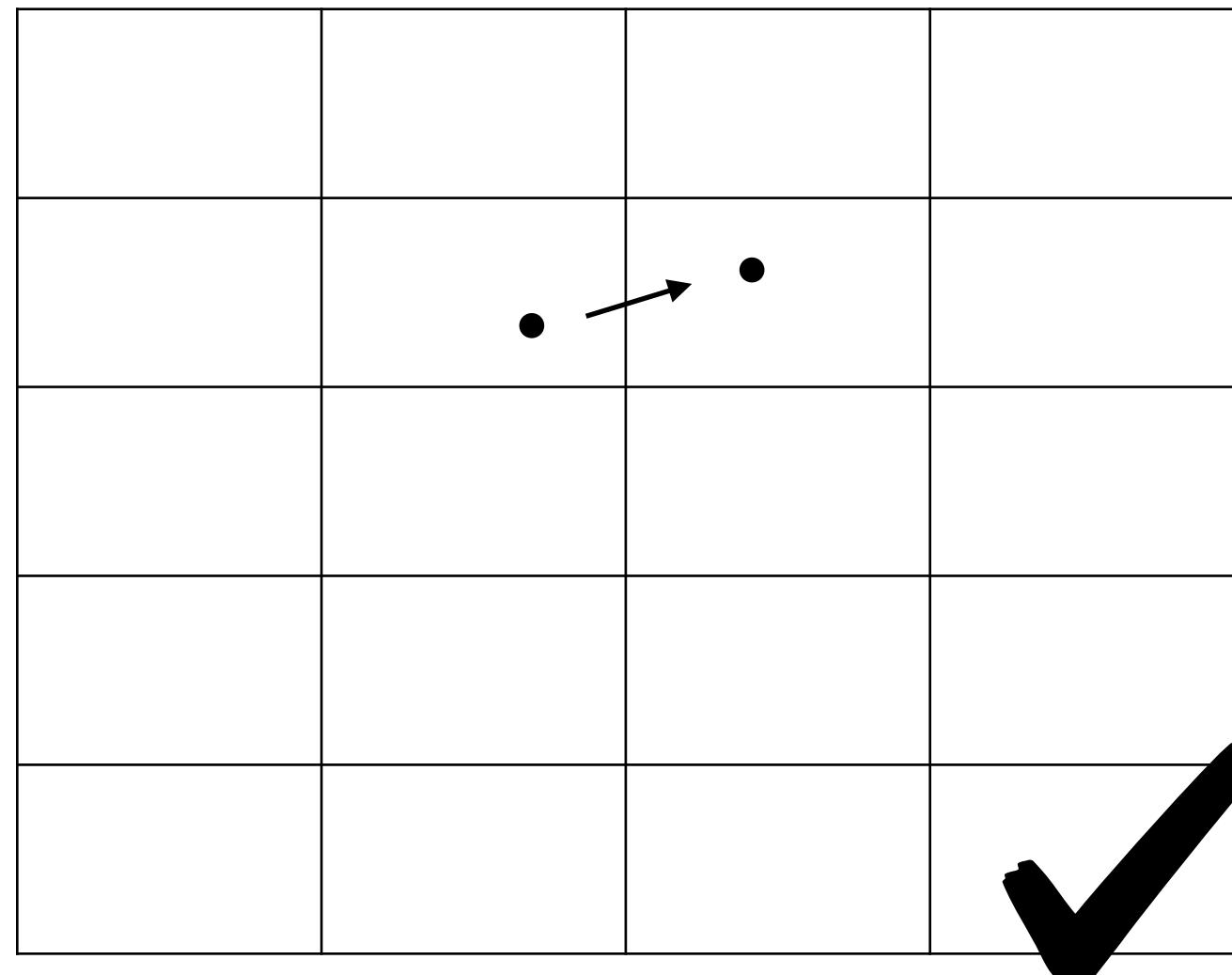


El problema:

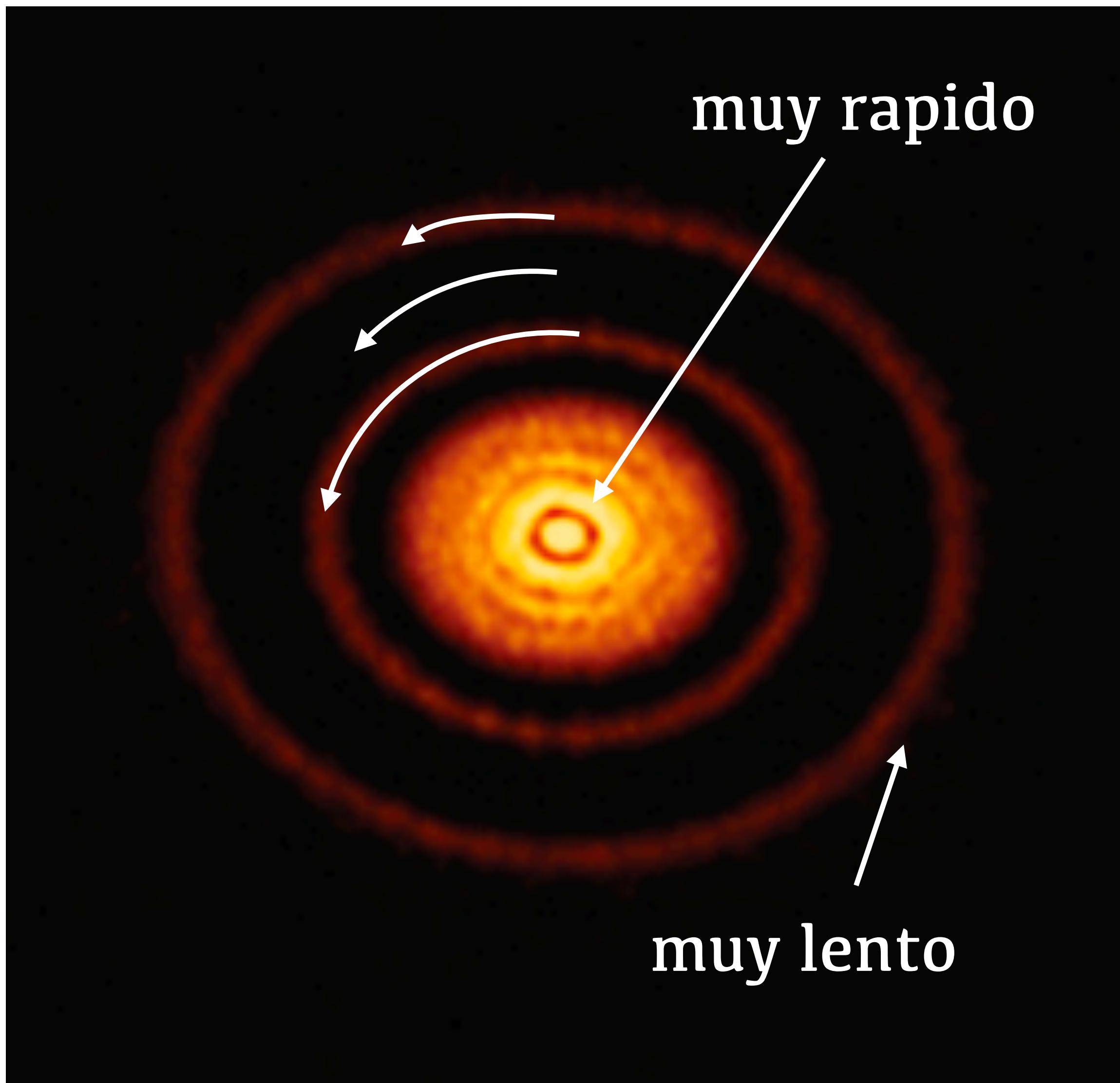
Si el fluido es rápido, el paso de tiempo tiene que ser pequeño

$$\frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

Esto hace que la simulación sea más lenta 😞



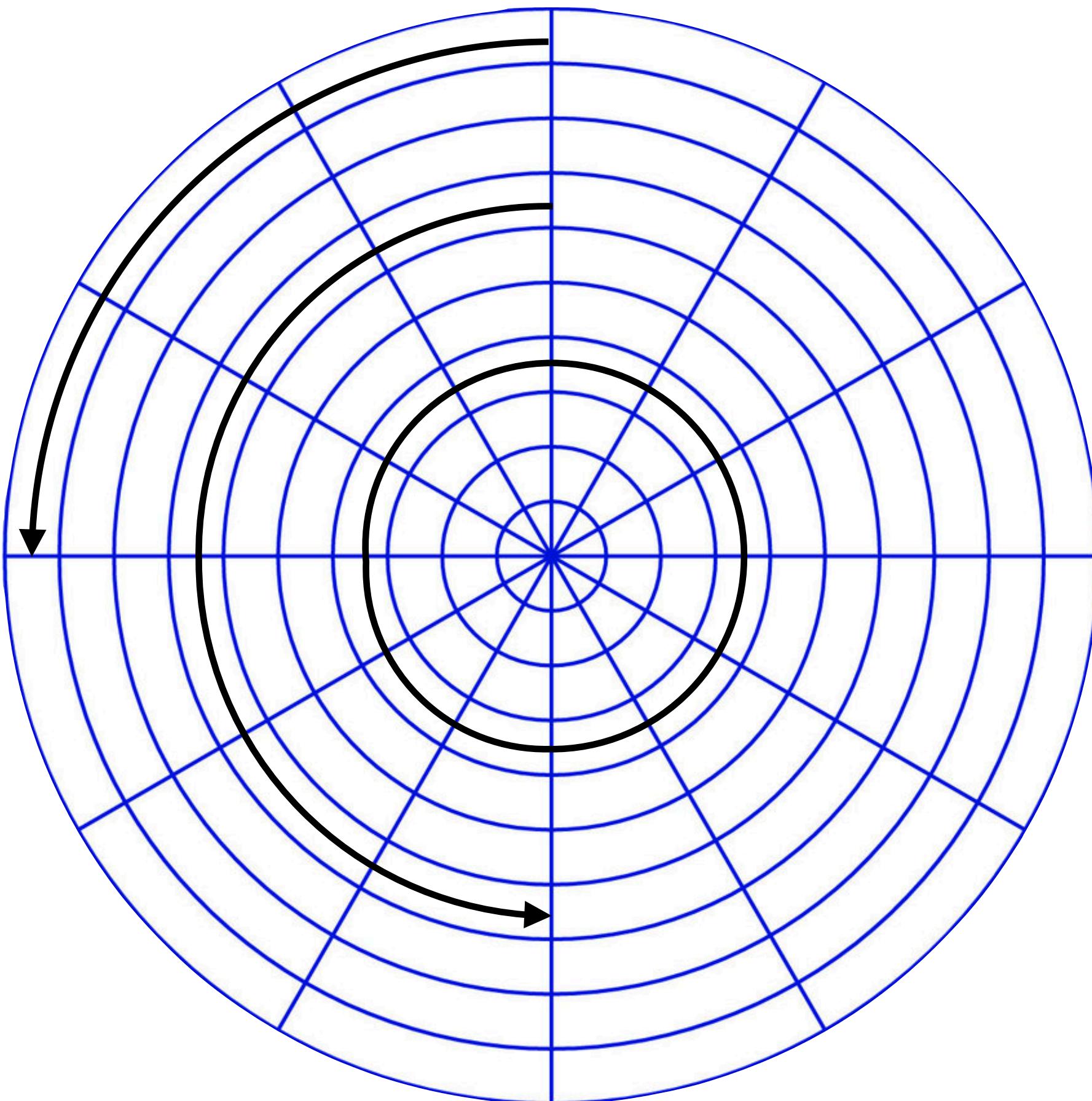
El disco protoplanetario:



$$v_K = \sqrt{\frac{GM_\star}{r}}$$

Que significa FARGO3D?

Fast advection in rotating gaseous objects

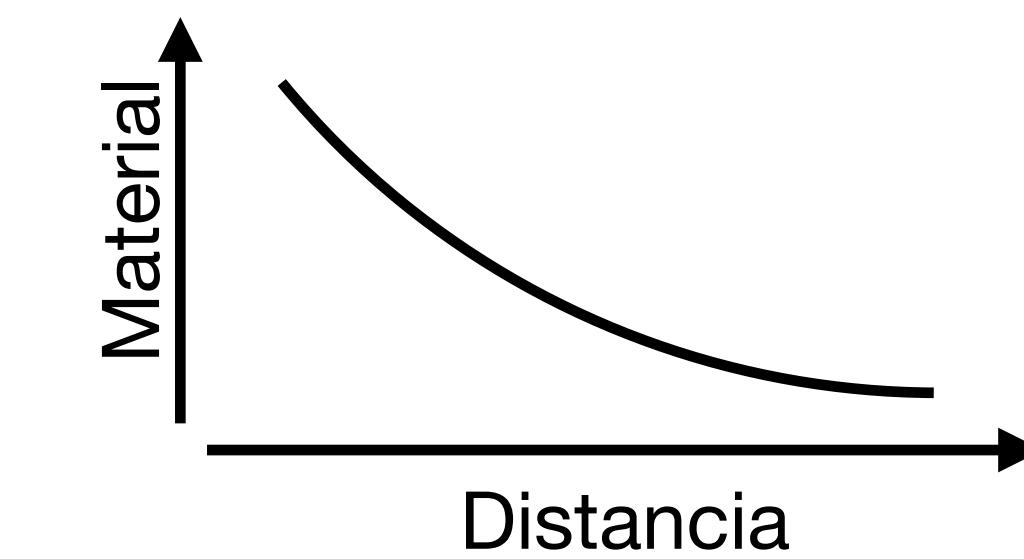
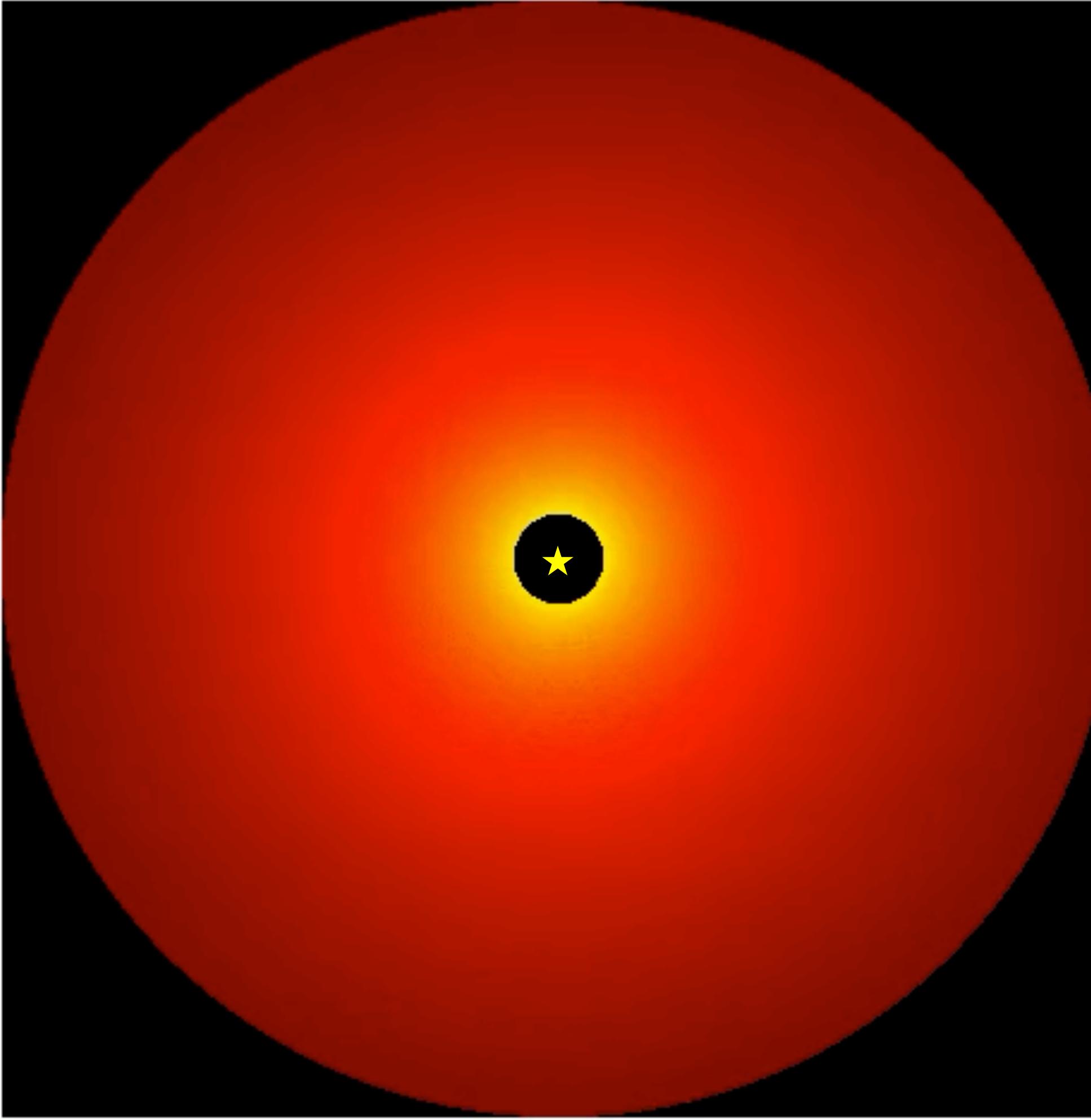


La velocidad cerca de la estrella
es mucho mayor que lejos de ella

FARGO elimina esta desigualdad

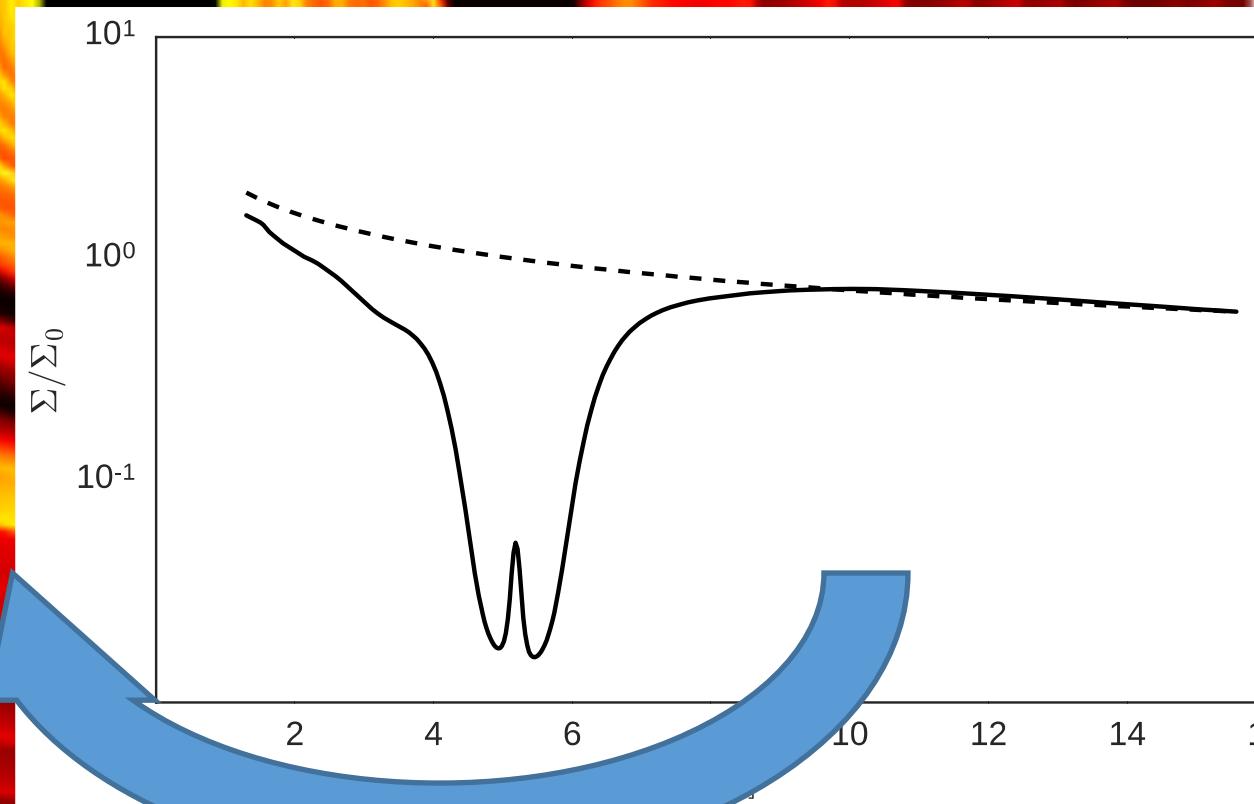
Esto acelera considerablemente
la simulación.

Dejate de wear, necesitamos un vídeo



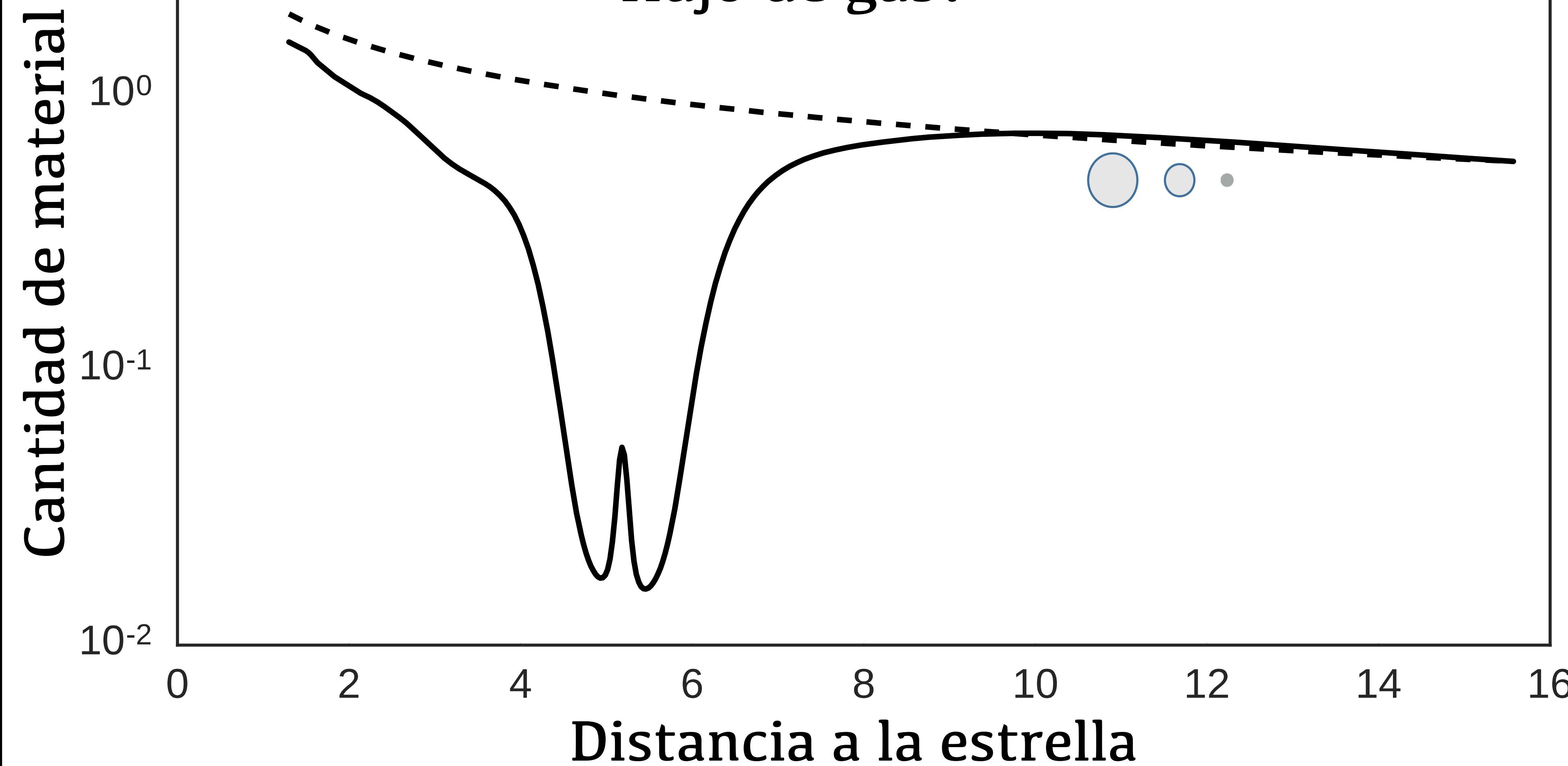
$$\Phi = -\frac{GM_{\star}}{r} - \frac{GM_P}{|r - r_P|}$$

Cantidad de material

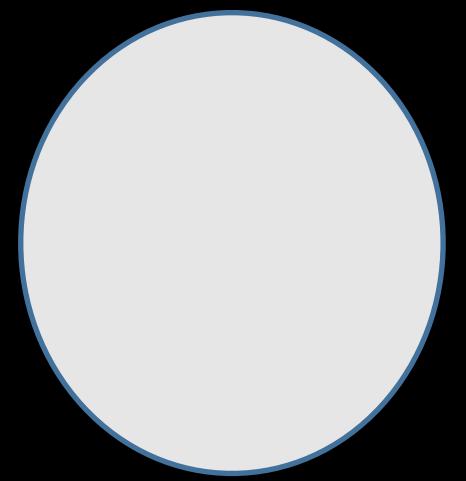


Distancia a la estrella

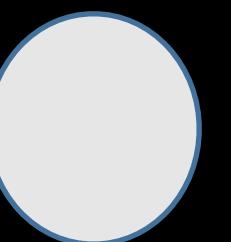
¿Cómo se mueve el material sólido en un
flujo de gas?



¿Cómo se mueve el polvo en un flujo de gas?



Grande



Medio

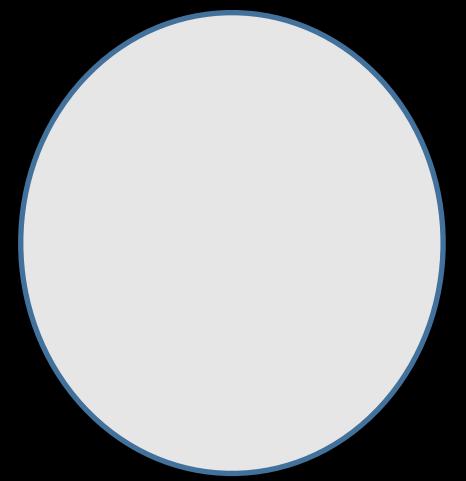


Pequeño

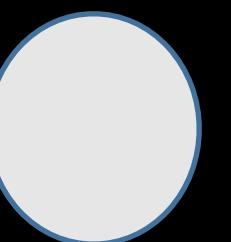
¿Cómo se mueve el polvo en un flujo de gas?



¿Cómo se mueve el polvo en un flujo de gas?



Grande



Medio

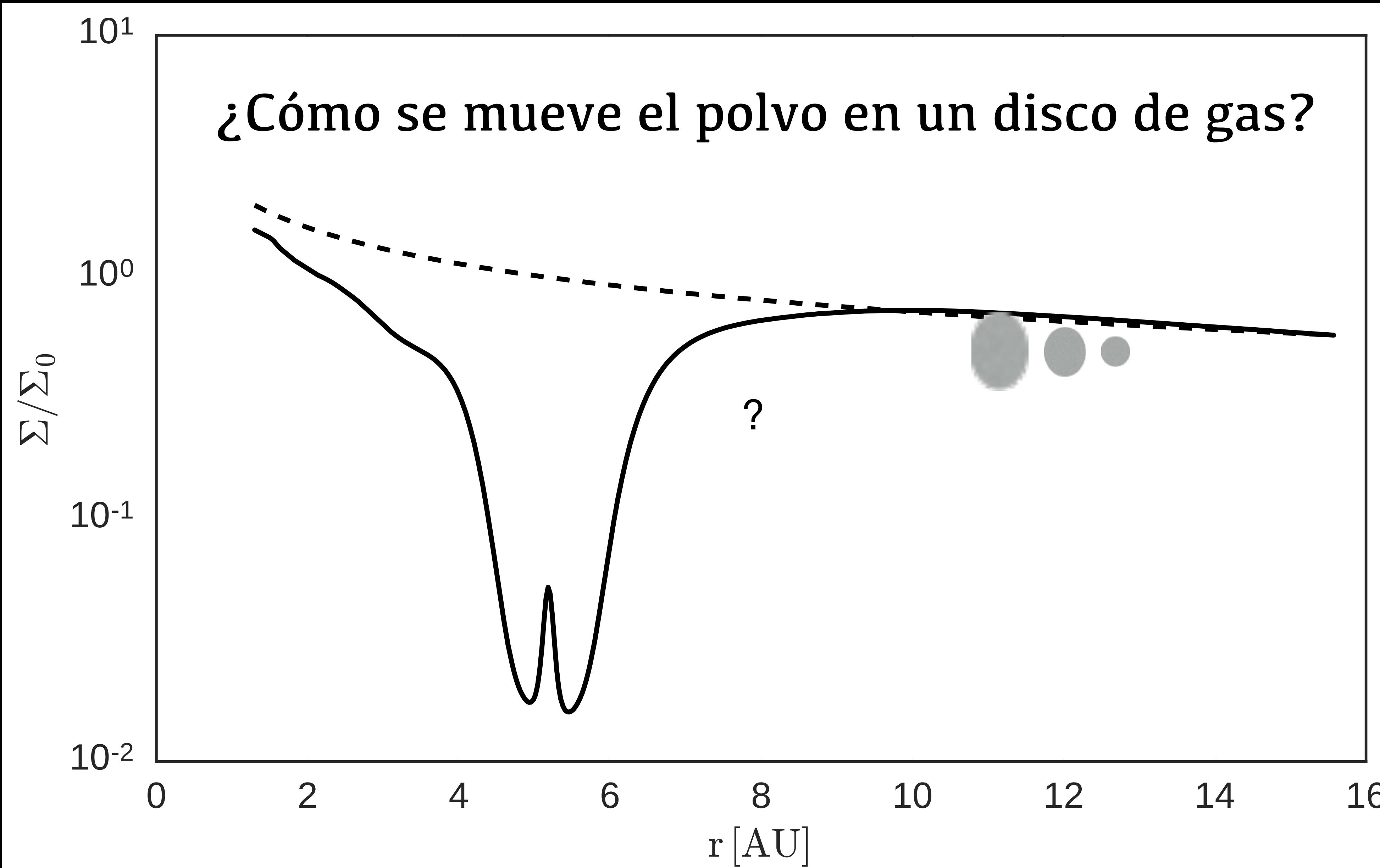


Pequeño

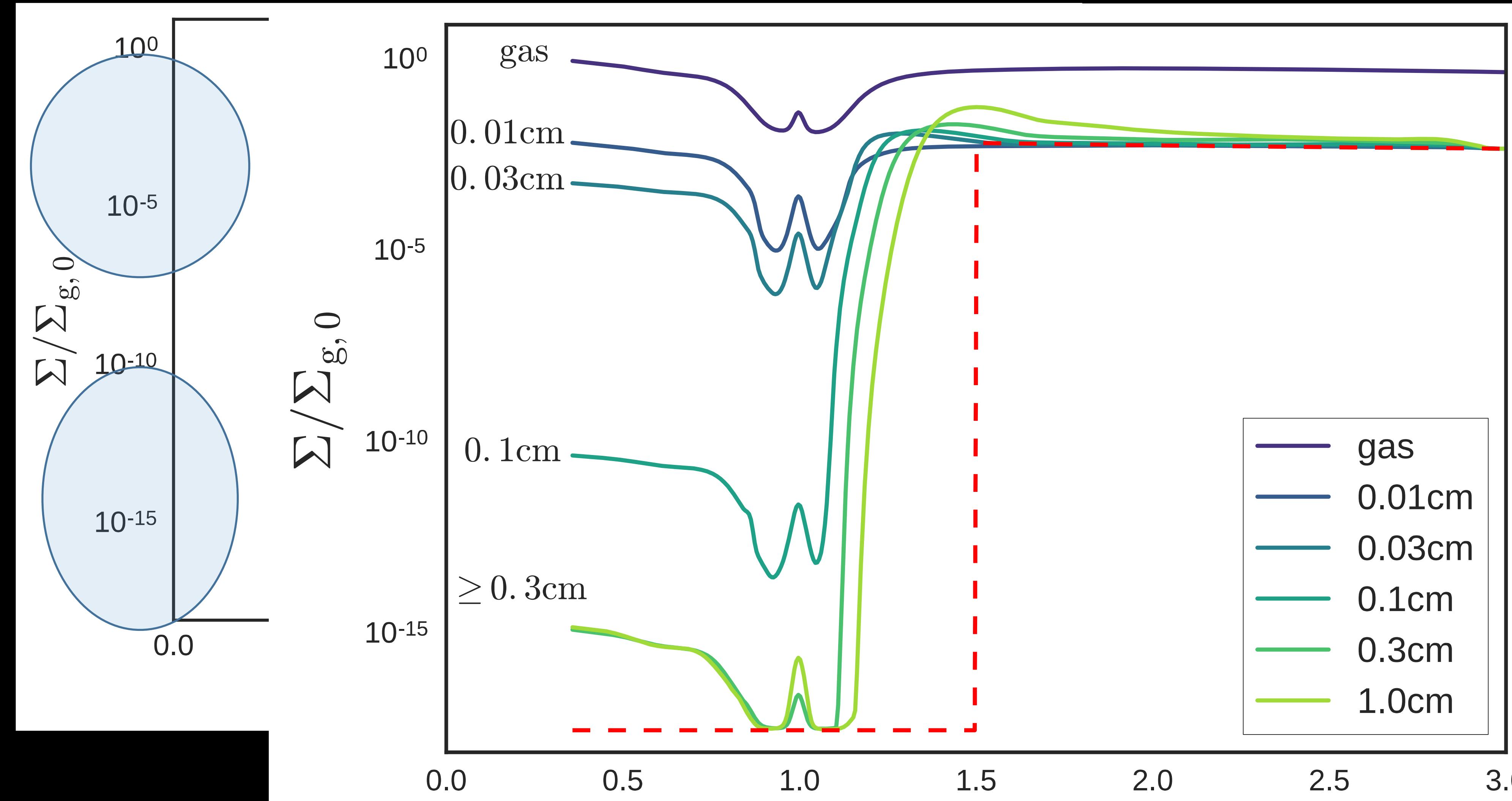
¿Cómo se mueve el polvo en un flujo de gas?

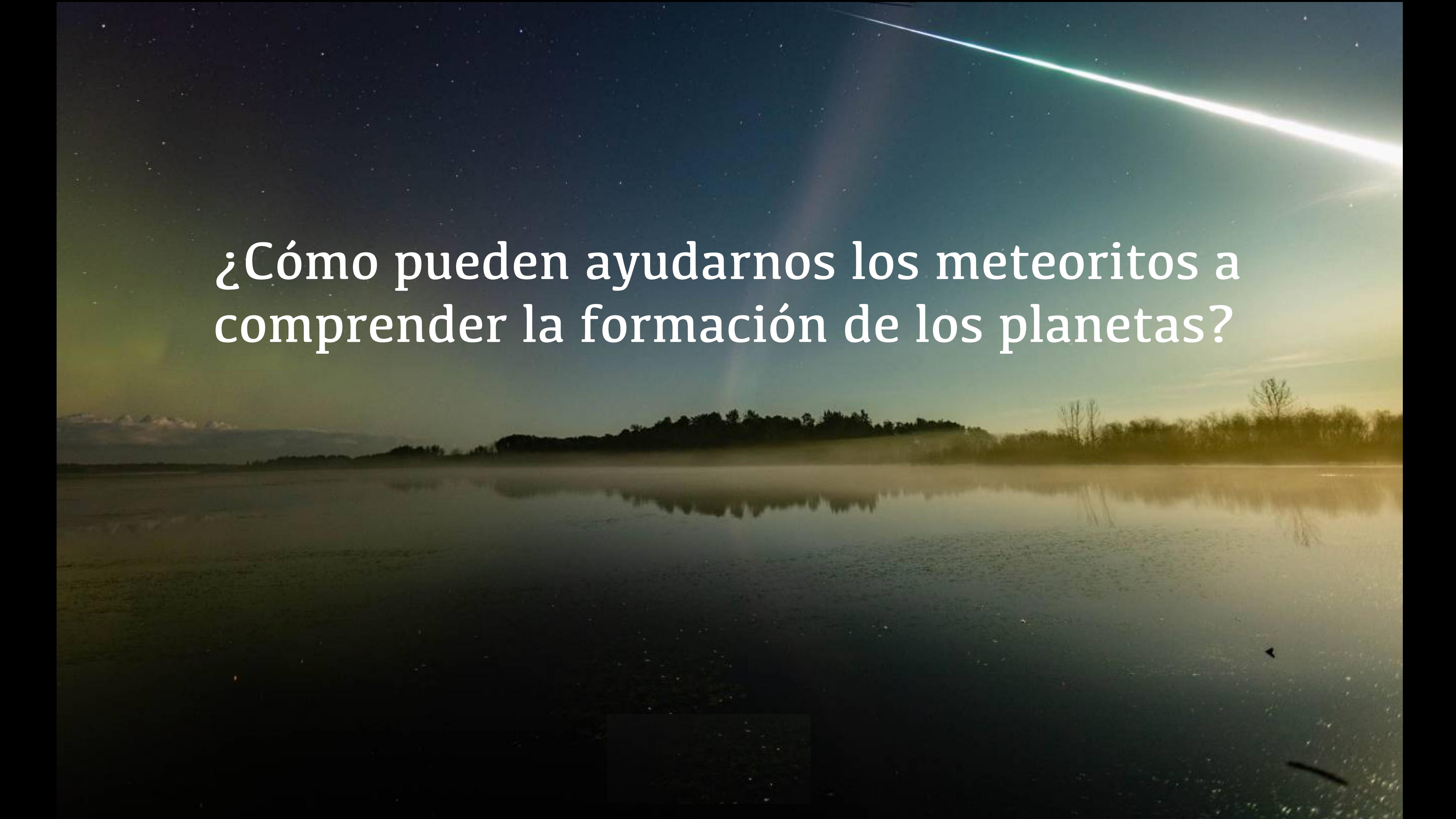
- Pequeño igual que el gas
 - Grande no le importa el gas
 - Medio se pone complicado

¿Cómo se mueve el polvo en un disco de gas?



Pongamos polvo en el disco:



A landscape photograph of a calm lake reflecting the sky. In the background, there are silhouettes of trees and mountains. A bright, diagonal streak of light cuts across the upper right portion of the image, suggesting a meteor or a comet.

¿Cómo pueden ayudarnos los meteoritos a
comprender la formación de los planetas?





Sistema Solar
Interior



Mercury
Venus
Earth
Mars

Jupiter

Saturn

Uranus

Neptune

Sistema Solar
Exterior



¿Qué hay dentro de los meteoritos?

Cóndrulo



Inclusiones ricas en calcio-aluminio

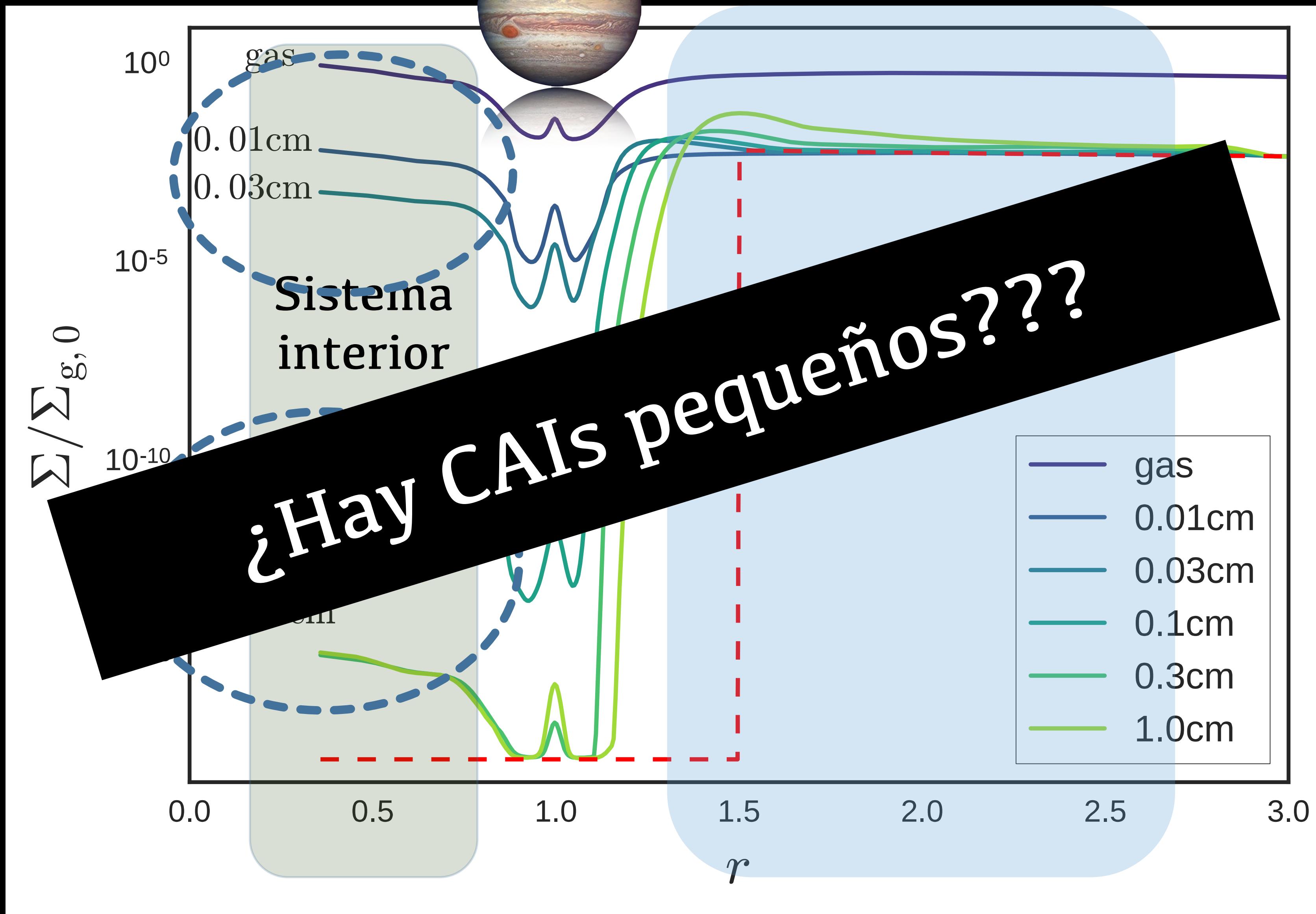
- Inclusion de Calcio-Aluminio tiguos del Sistema Solar
- Sólo existen en meteoritos procedentes del Sistema Solar exterior

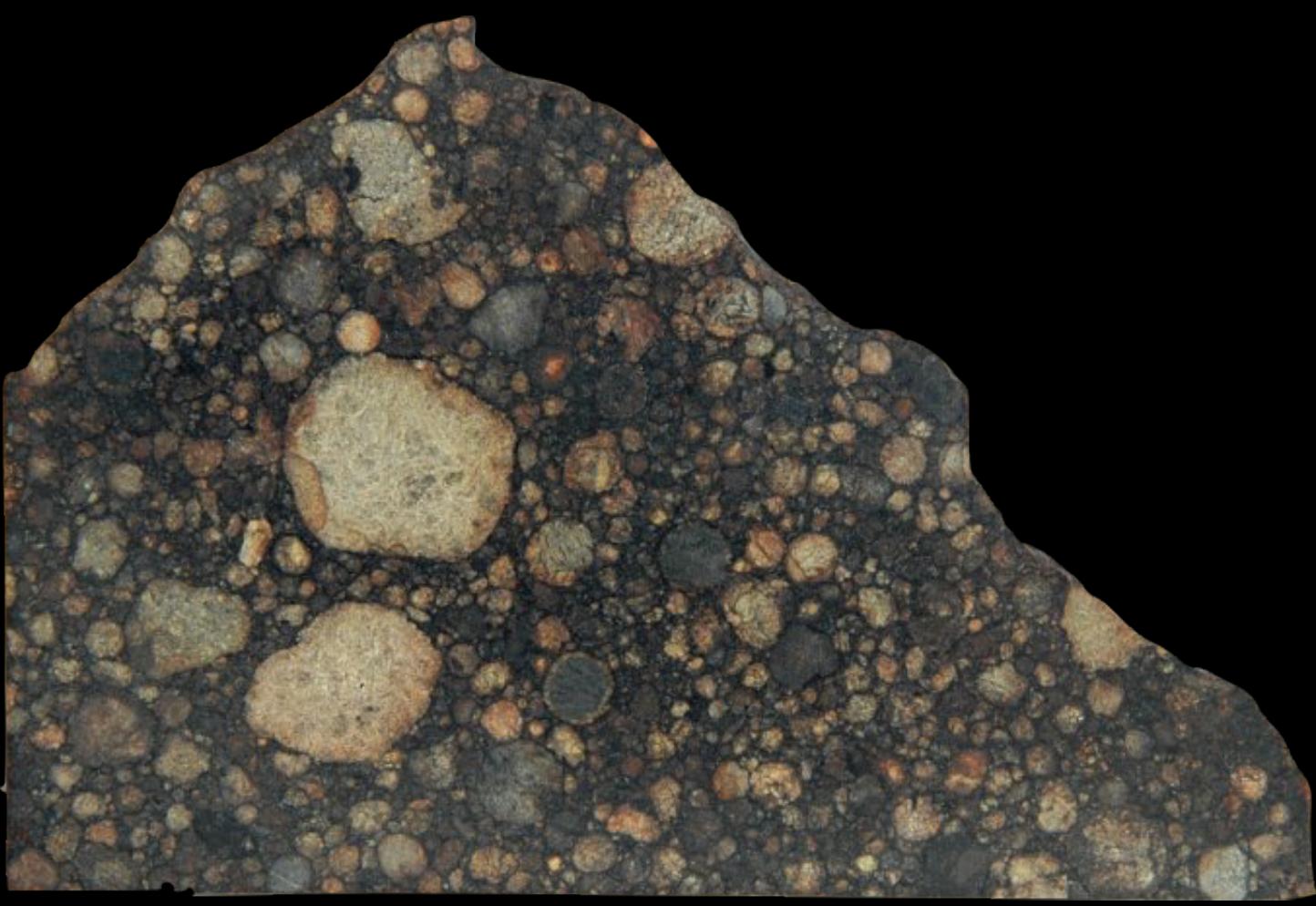
Matriz

¿Por qué estas cosas de calcio-aluminio no están en el Sistema Solar interior?

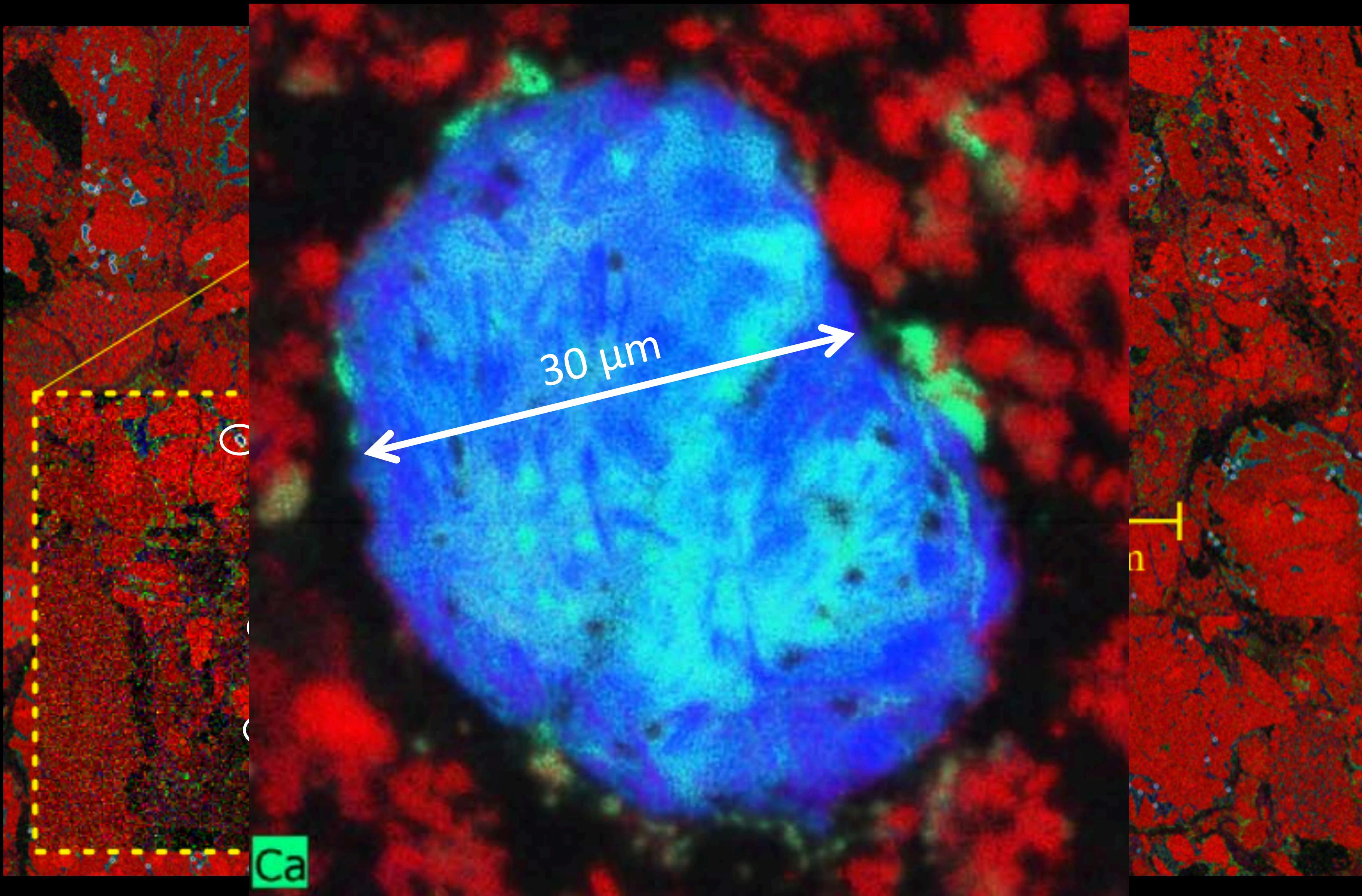
¿Es Júpiter el responsable de esto?







NWA 5697



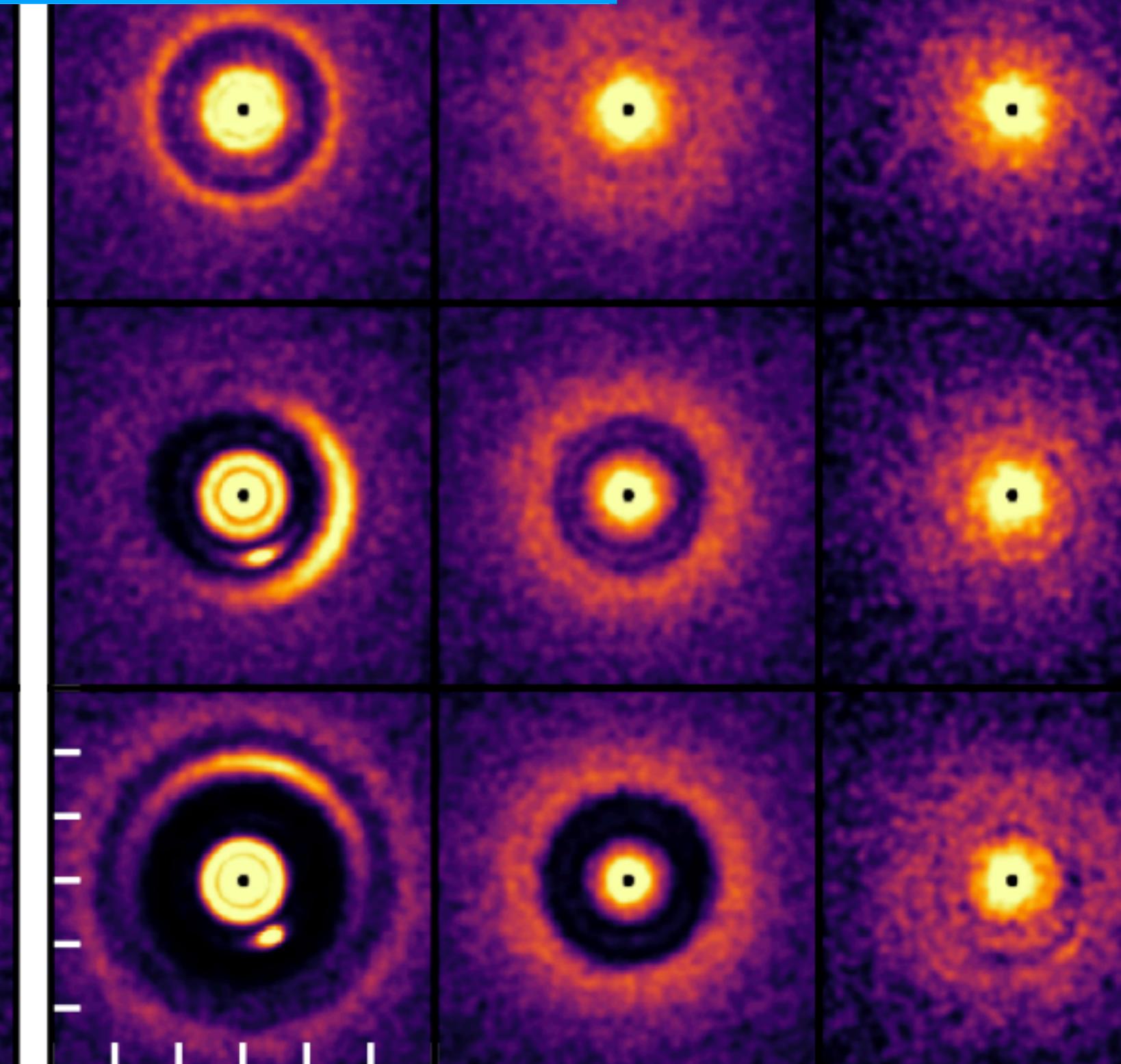
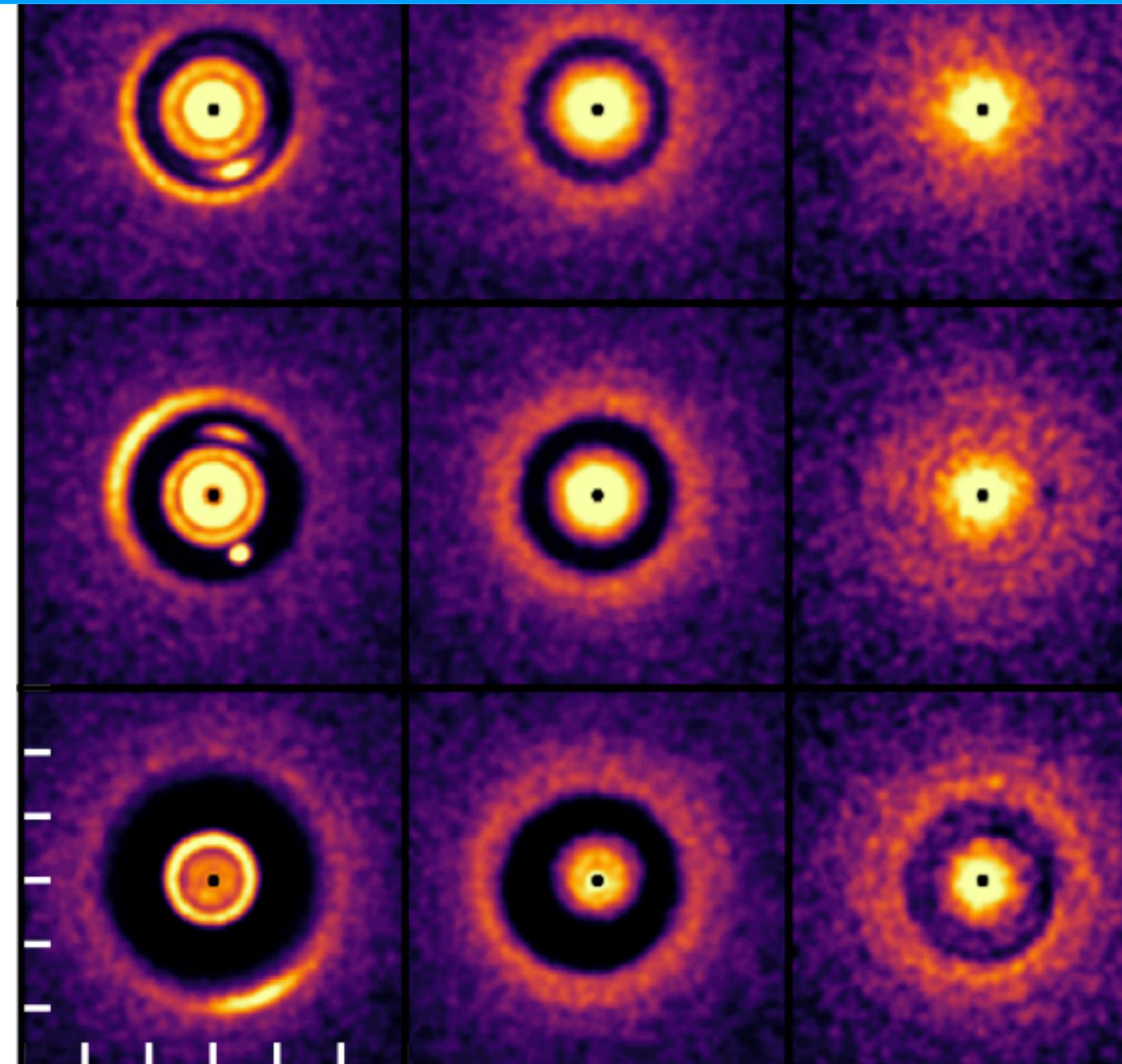
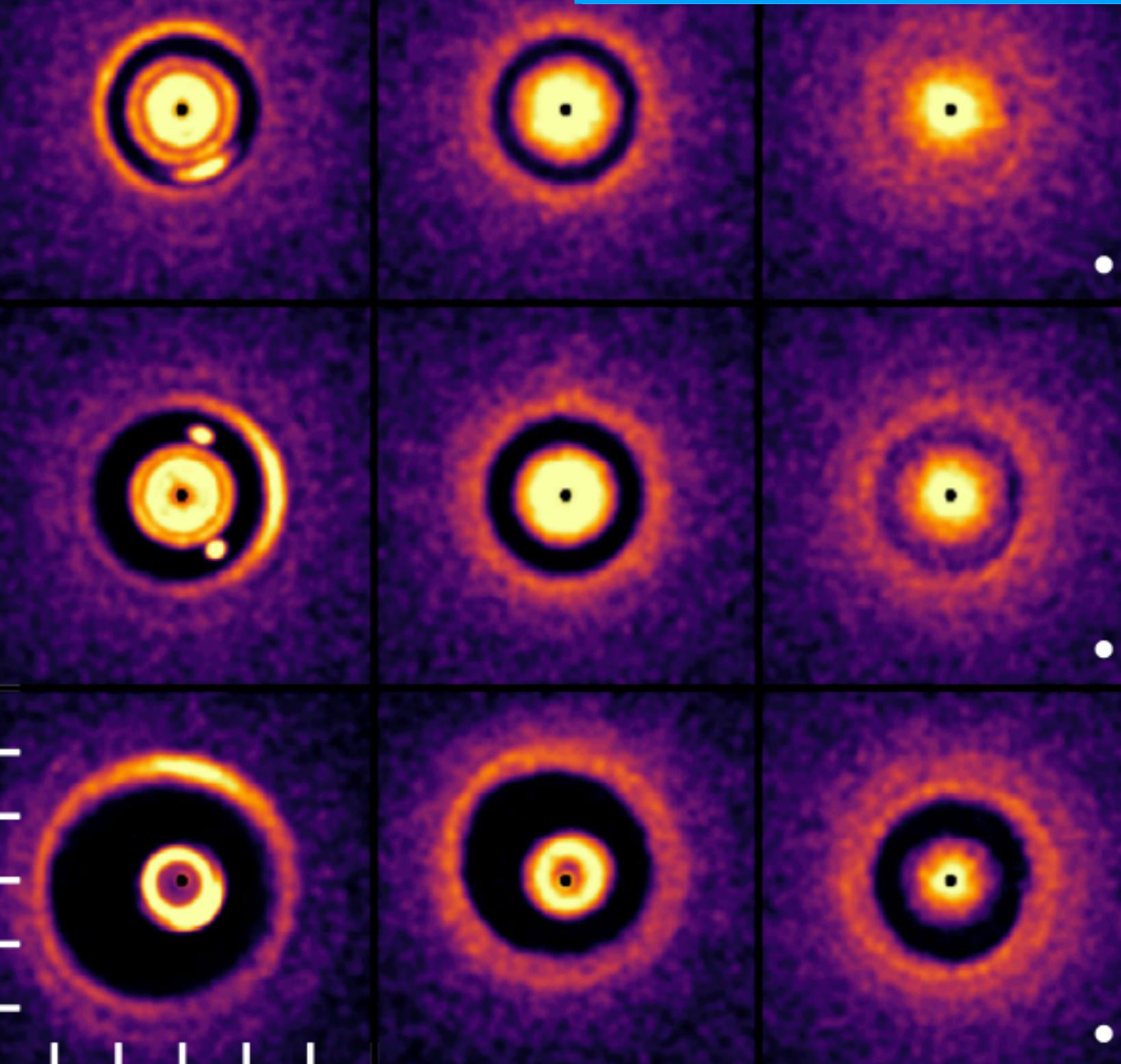
- Un planeta gigante como Júpiter influye mucho en su entorno
- Posiblemente dividió el Sistema Solar en una parte interior y otra exterior



¿Es Júpiter la razón por la que la Tierra
es como es?

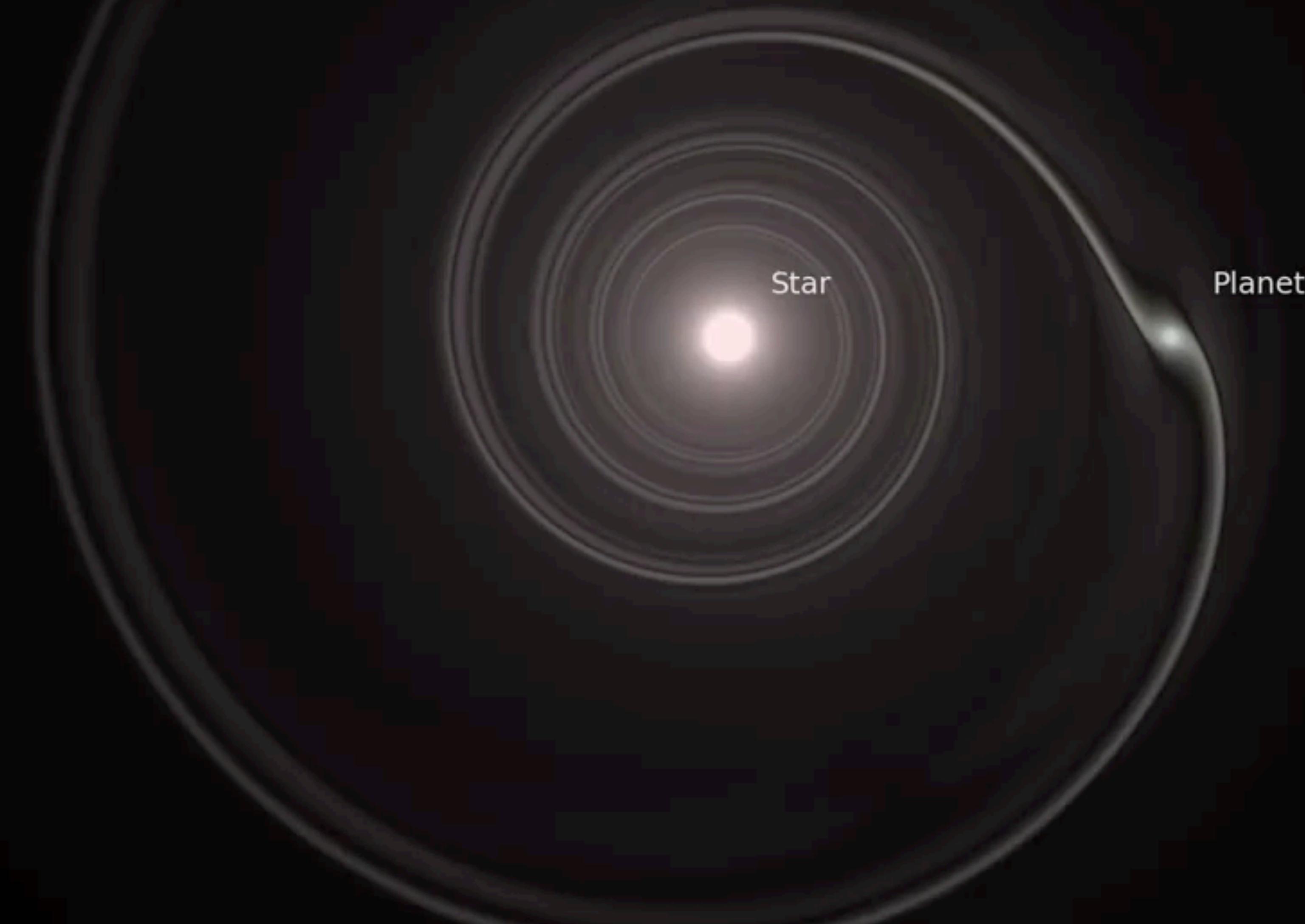
$\alpha = 10^{-4}$ $\alpha = 10^{-3}$ $\alpha = 10^{-2}$ $\alpha = 10^{-4}$ $\alpha = 10^{-3}$ $\alpha = 10^{-2}$ $\alpha = 10^{-4}$ $\alpha = 10^{-3}$ $\alpha = 10^{-2}$

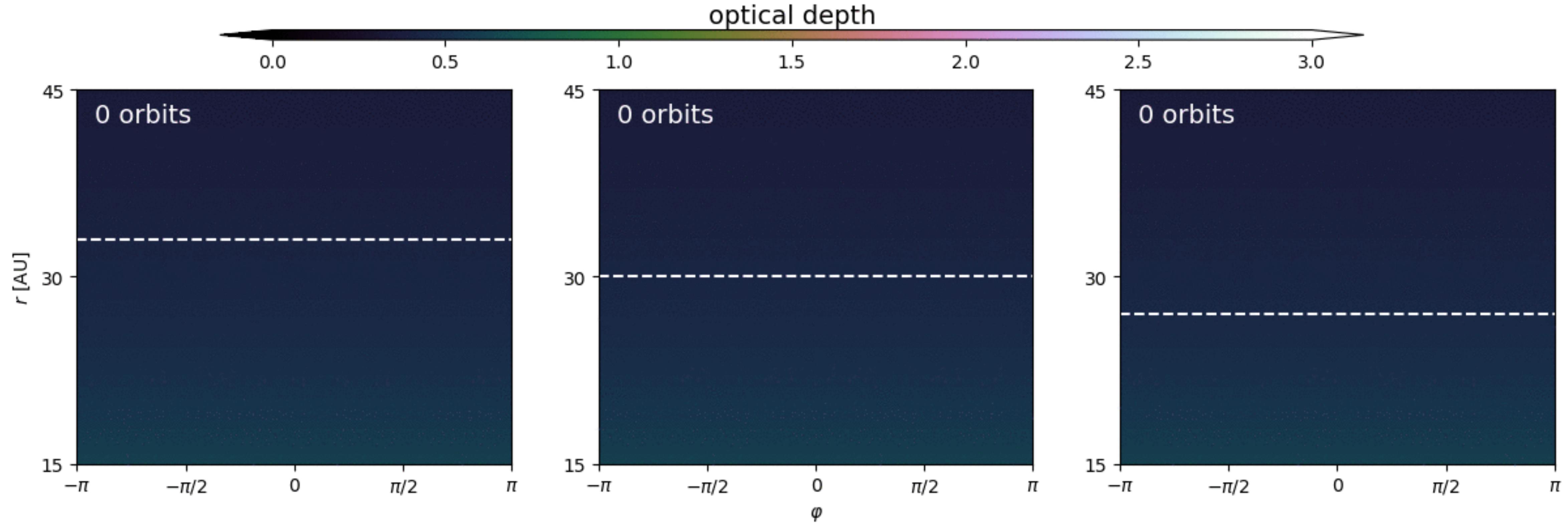
¿Cómo cambia el disco si cambiamos las condiciones físicas?



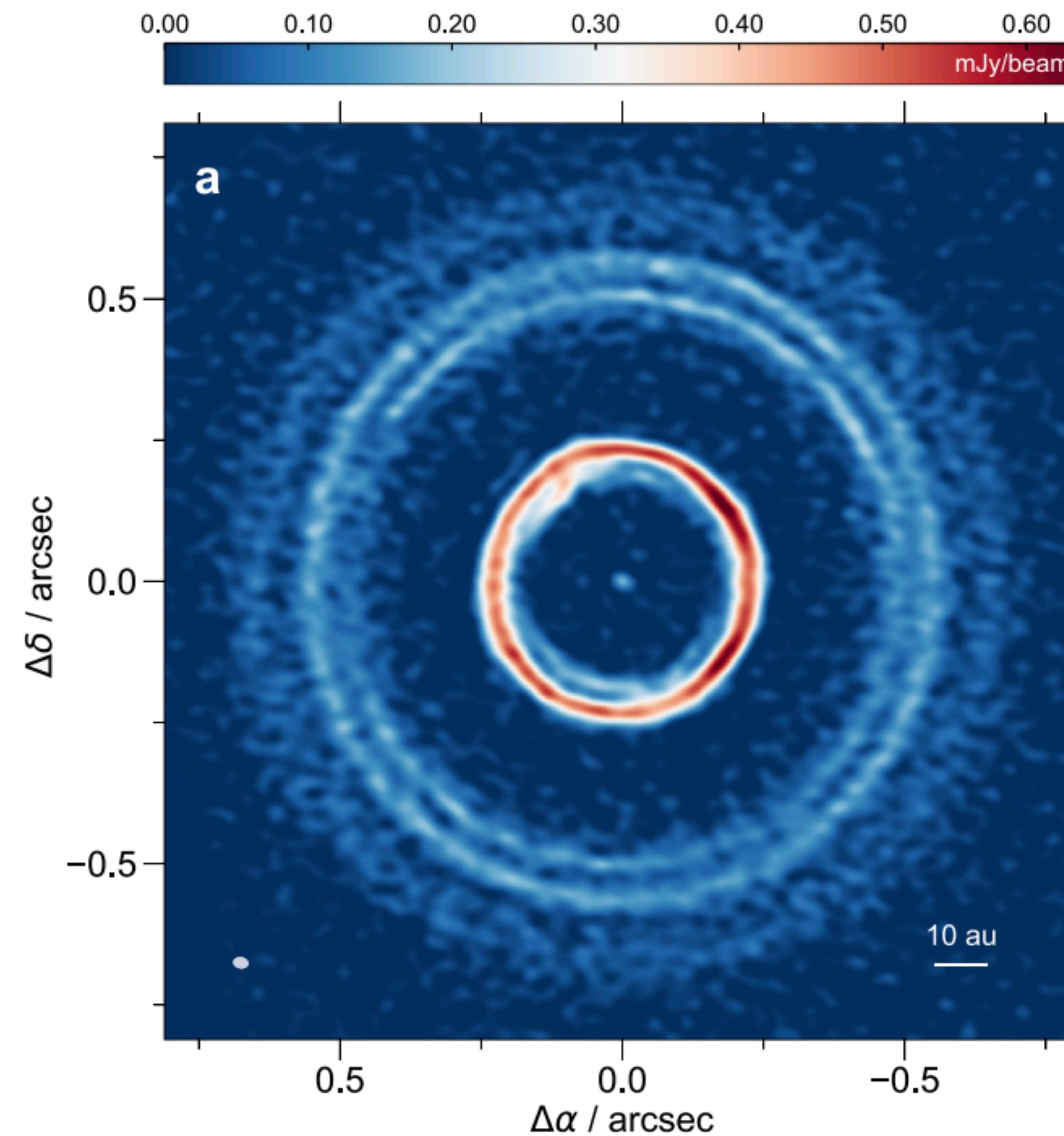
También podemos preguntarnos cómo modifica el disco la órbita del planeta:

NON-MIGRATING CASE

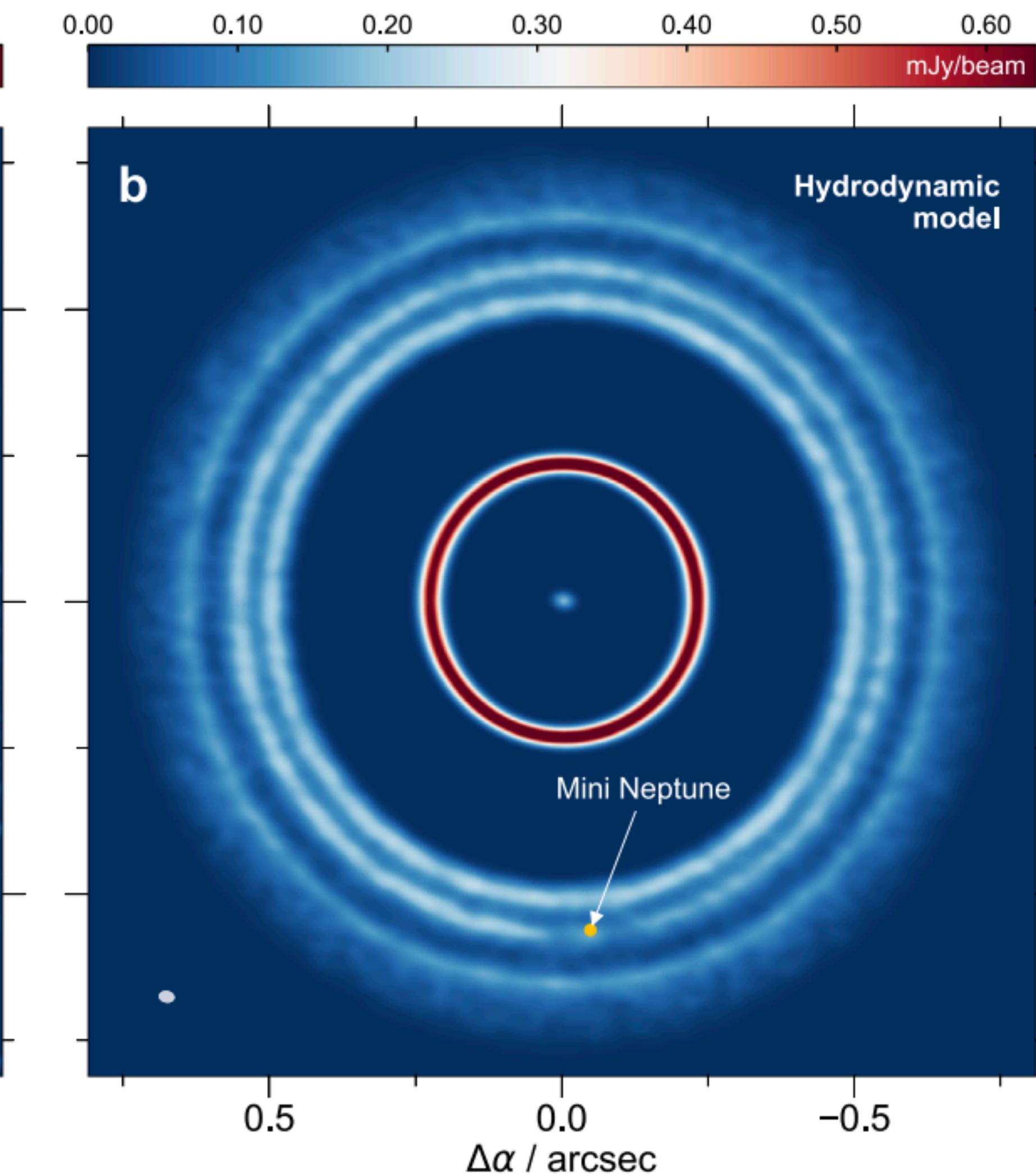




Observación



Simulación

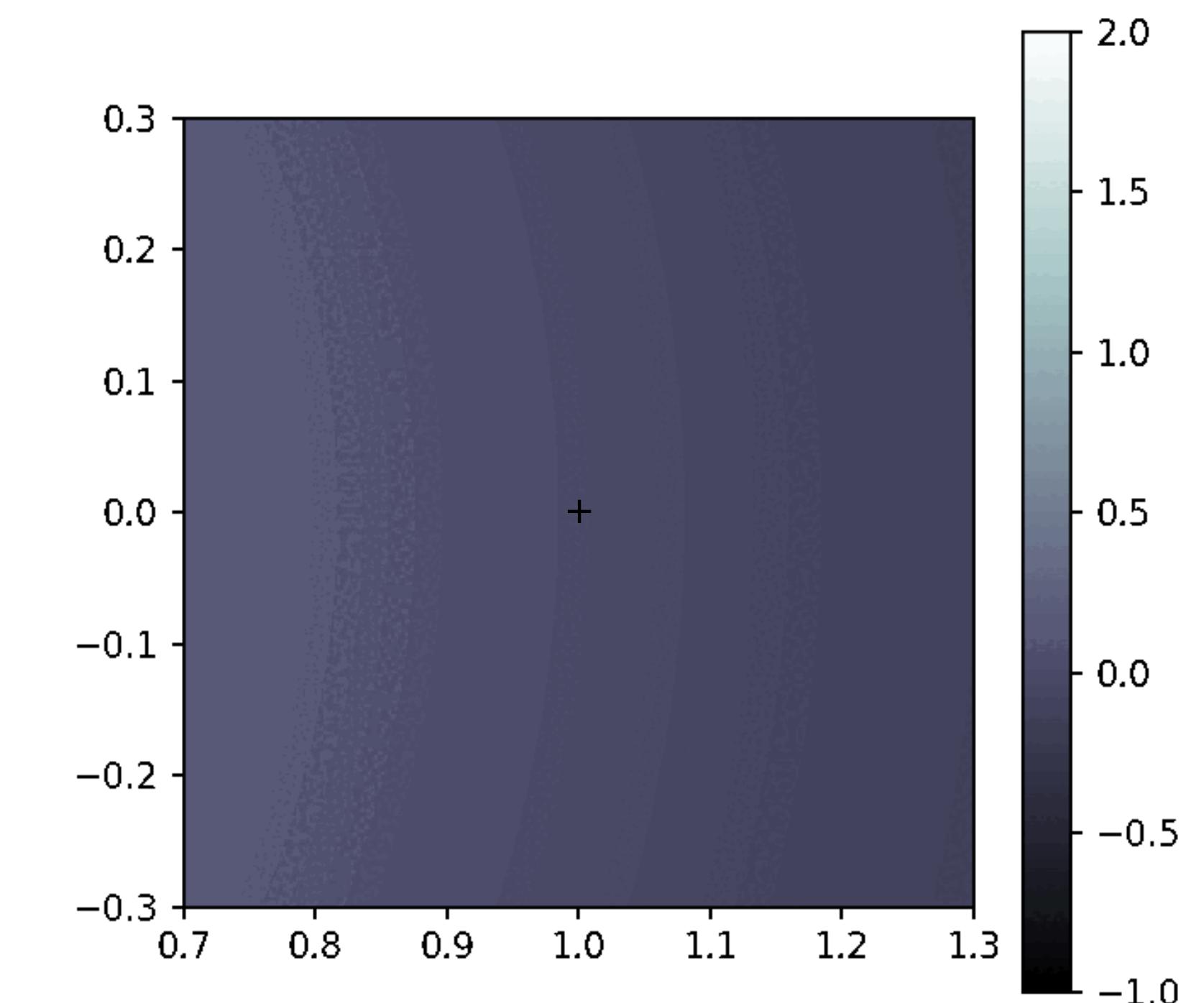
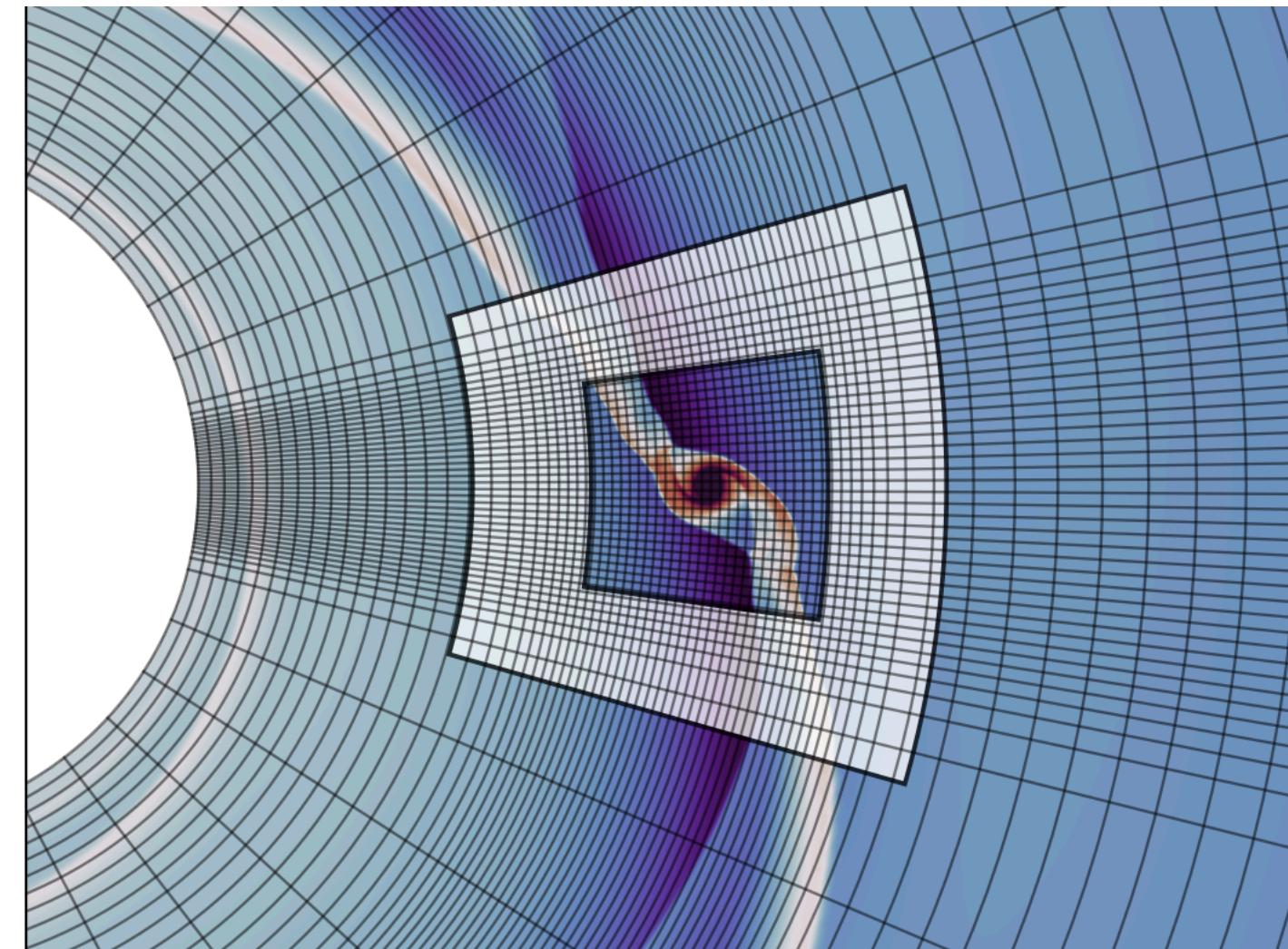
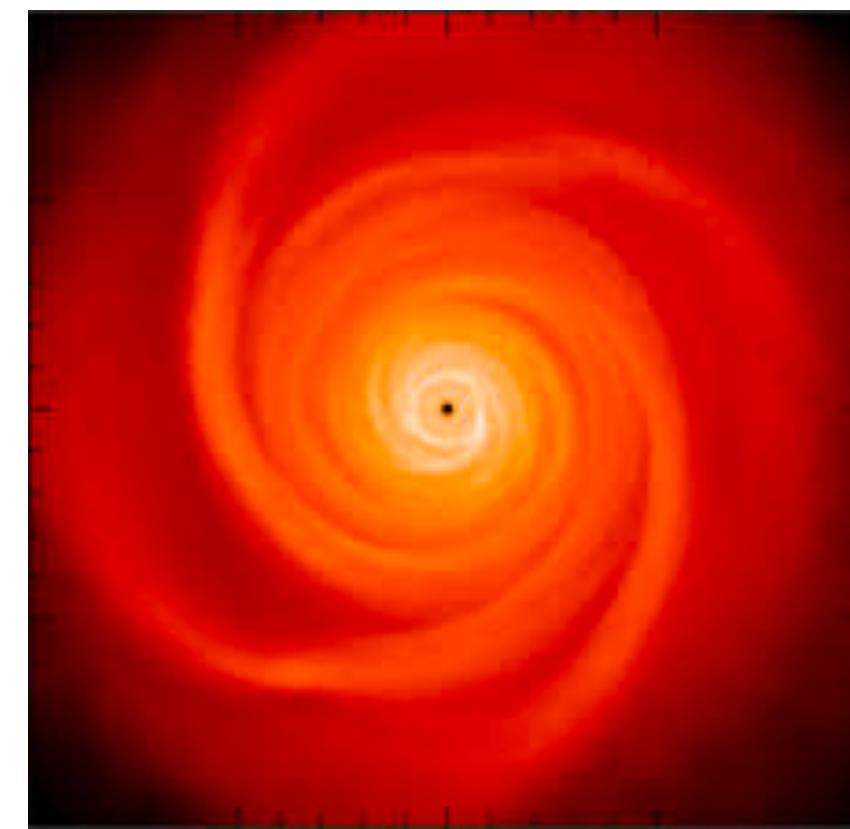


Profe Seba et al. 2019

Nuestras preguntas siempre se transforman y, por tanto, también lo hace el código

¿qué ocurre si el disco pesa mucho y se rompe?

¿Cómo se forman las lunas?



La próxima vez:

1. ¿Cómo puedo ejecutar FARGO3D yo mismo?
2. ¿Cómo puedo analizar/visualizar los resultados?
3. ¿Cómo puedo definir mi propia configuración?
4. ¡Juega con el código!

¿Cómo puedo obtener/installar el código?

1. Ir a la pagina: <http://fargo.in2p3.fr/>
2. Pulse el botón de “Download” de la derecha
3. En el repositorio git pulsa "Clone"
4. Copiar-pegar el comando en un terminal

Benchmarking diffusion

