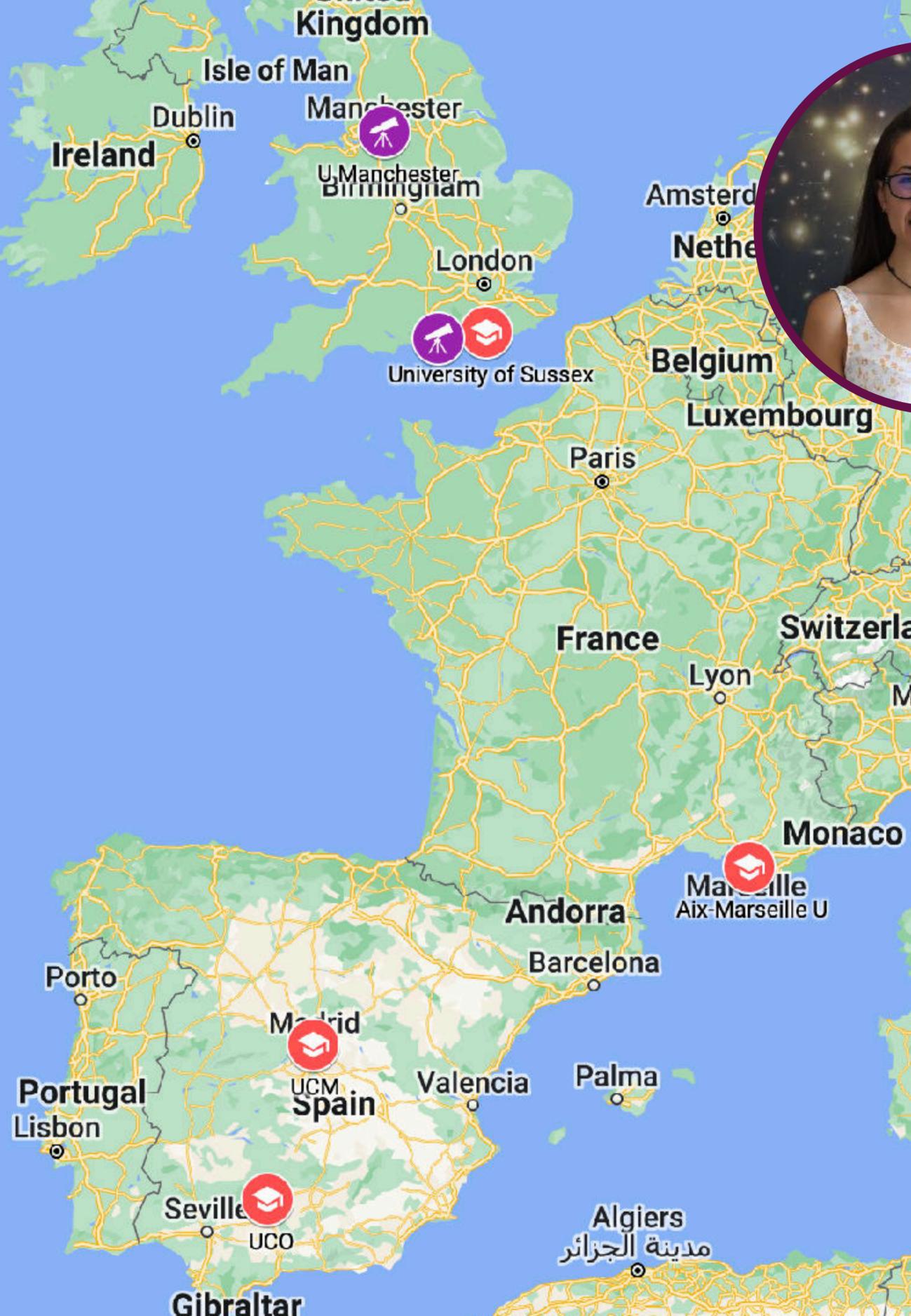


The background features a complex, abstract visualization of dark matter. It consists of numerous glowing spheres in shades of blue, purple, and red, scattered across the frame. These spheres are interconnected by a dense network of thin, intersecting lines in various colors, including yellow, orange, and red, creating a web-like structure. The overall effect is one of dynamic energy and interconnectedness, set against a dark, gradient background that transitions from black on the left to a deep red on the right.

Materia Oscura

Desafiando las ecuaciones de Einstein

Dr Lucía Fonseca de la Bella AMDIC 29/02/2024



Para presentarme...

Doctora en Física teórica, actualmente trabajo como Embajadora de la Agencia Espacial Europea (ESA) en el Reino Unido, asociada a la Universidad de Portsmouth e implicada en la creación del Centro de Misiones Espaciales.

Empecé mi licenciatura en Física en la Universidad de Córdoba, terminando en la Universidad Complutense de Madrid.

Realicé un máster en Cosmología teórica en Marsella (Francia) para luego seguir con mi doctorado en Física teórica sobre el estudio de la materia oscura (Universidad de Sussex).

Trabajé en cosmología observacional como Investigadora Postdoctoral en Manchester (Reino Unido) donde colaboré con misiones internacionales y fundé el proyecto SkyPy para generar simulaciones del universo.

En la Universidad de Portsmouth trabajé como líder de validación de la misión internacional Euclid de la ESA y diseñé diversas misiones espaciales con temática de cambio climático y resiliencia planetaria.

Qué vamos a aprender

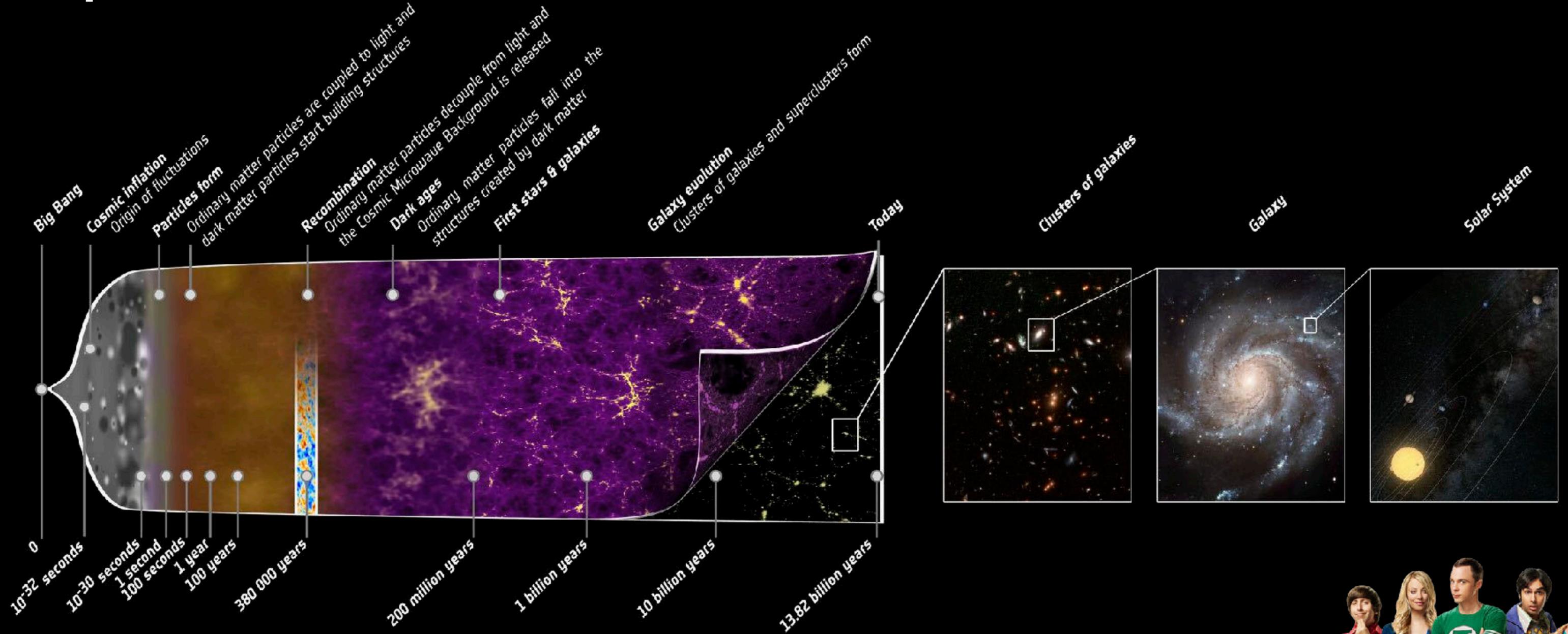
- 🌀 Breve historia del universo
- 🌀 Origen de la materia oscura
- 🌀 Evidencias por Albert Einstein
- 🌀 Desafiando las ecuaciones de Einstein
- 🌀 Conclusiones

Breve historia del Universo

The background of the image is a deep, dark night sky filled with numerous stars of varying brightness. A prominent feature is the Milky Way galaxy, which appears as a dense, multi-colored band of light stretching diagonally from the lower right towards the upper left. The colors of the Milky Way range from a soft pinkish-red to a vibrant purple and blue. The overall scene is a vast, starry expanse.

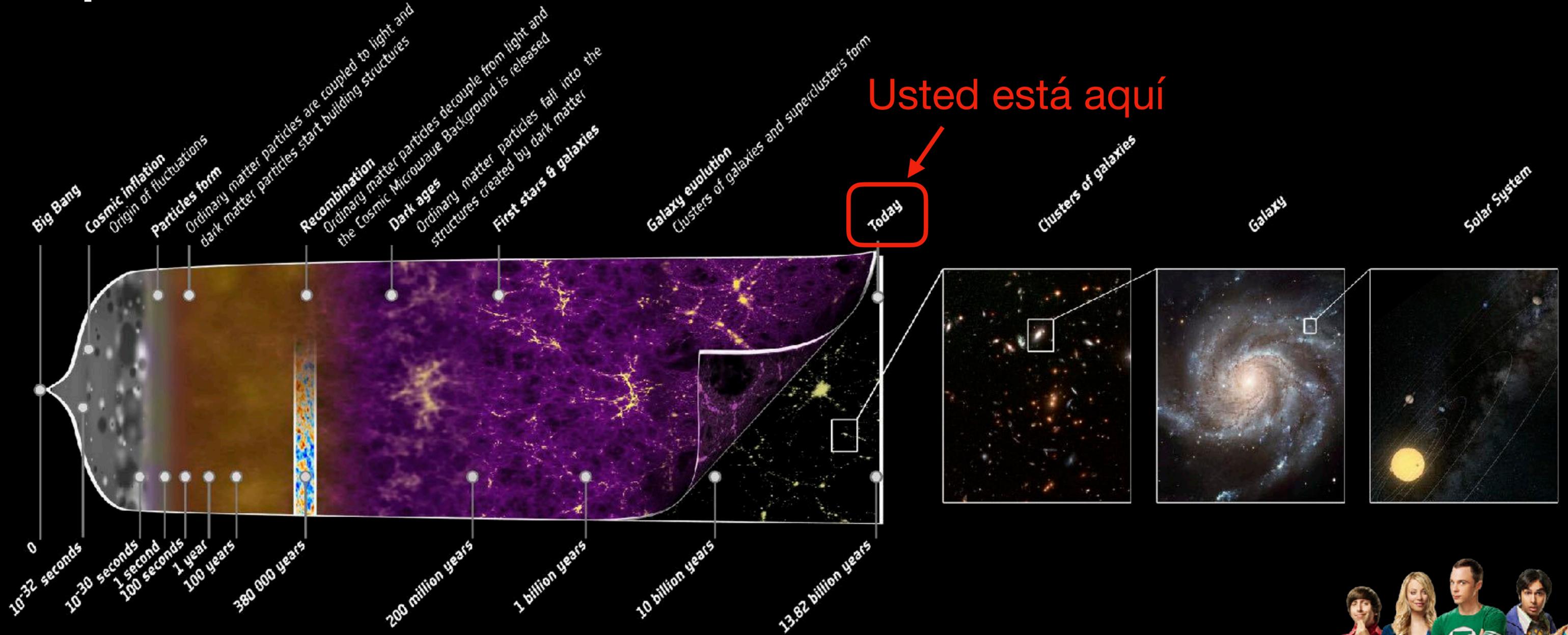
Historia del Universo

Capas de una cebolla



Historia del Universo

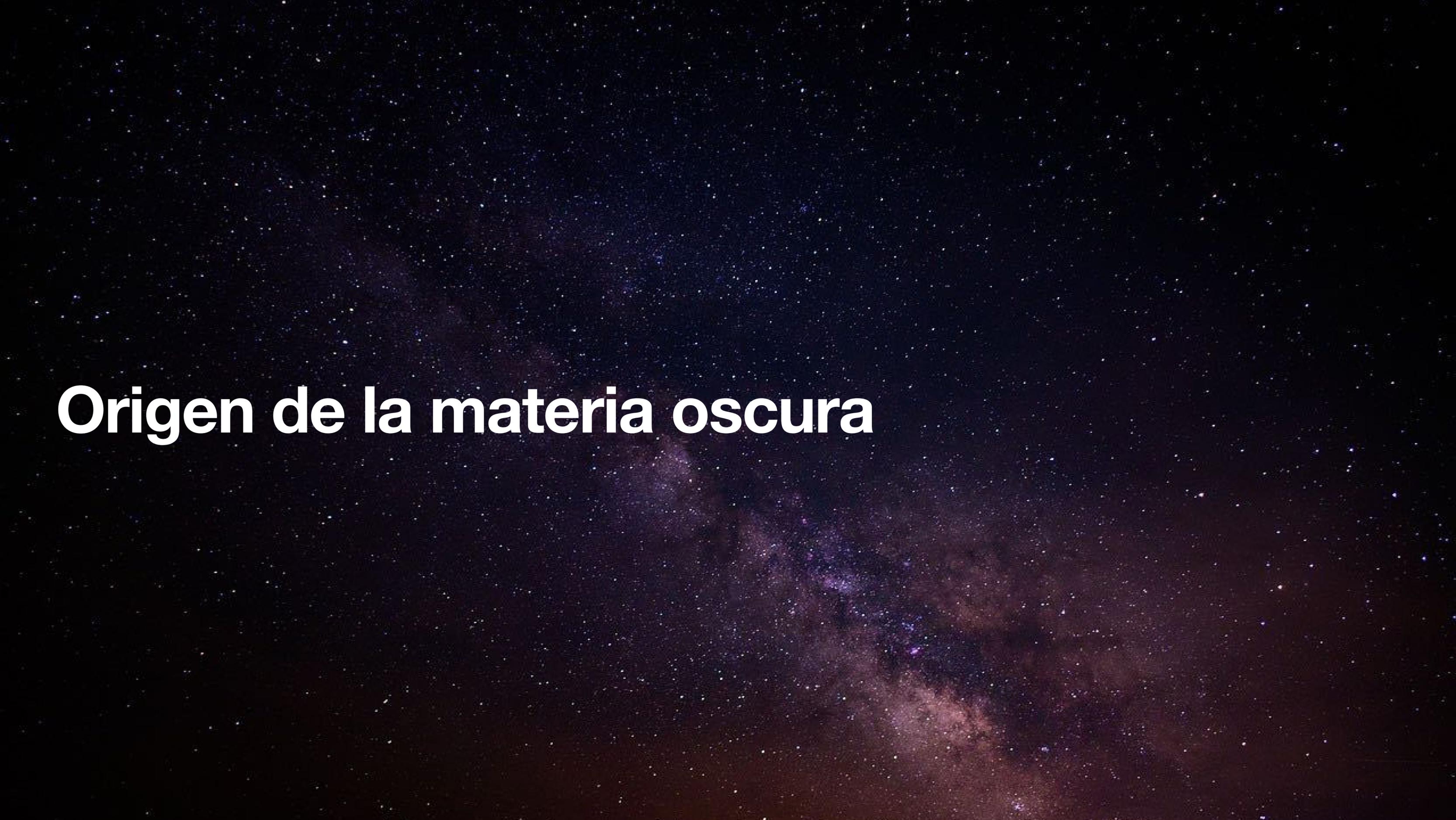
Capas de una cebolla



Usted está aquí



Origen de la materia oscura

A night sky photograph showing the Milky Way galaxy, with the title 'Origen de la materia oscura' overlaid in white text. The galaxy's core is visible as a bright, reddish-pinkish glow, and the surrounding stars and dust form a dense, dark band across the sky.

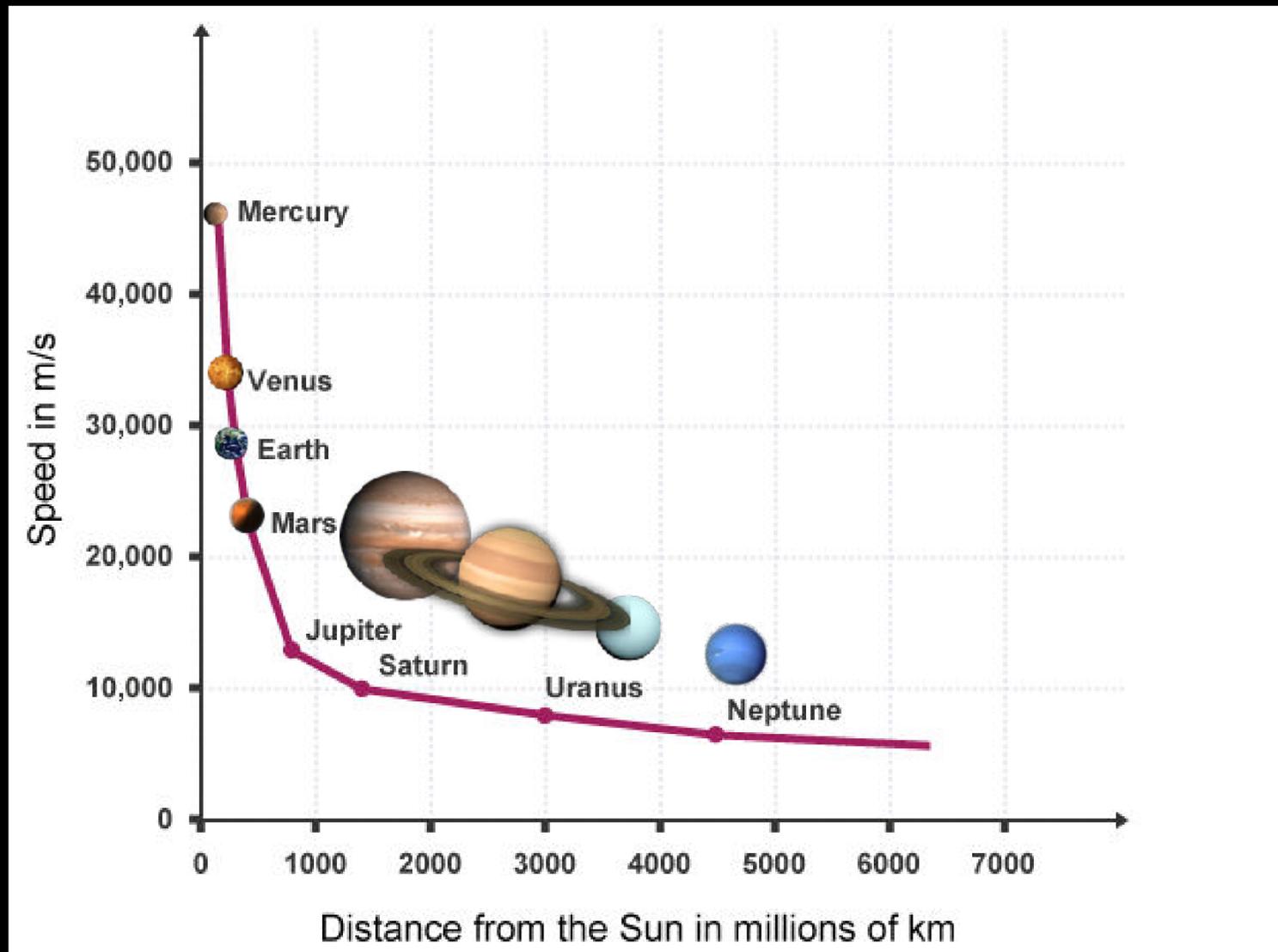
El descubrimiento

Vera Rubin

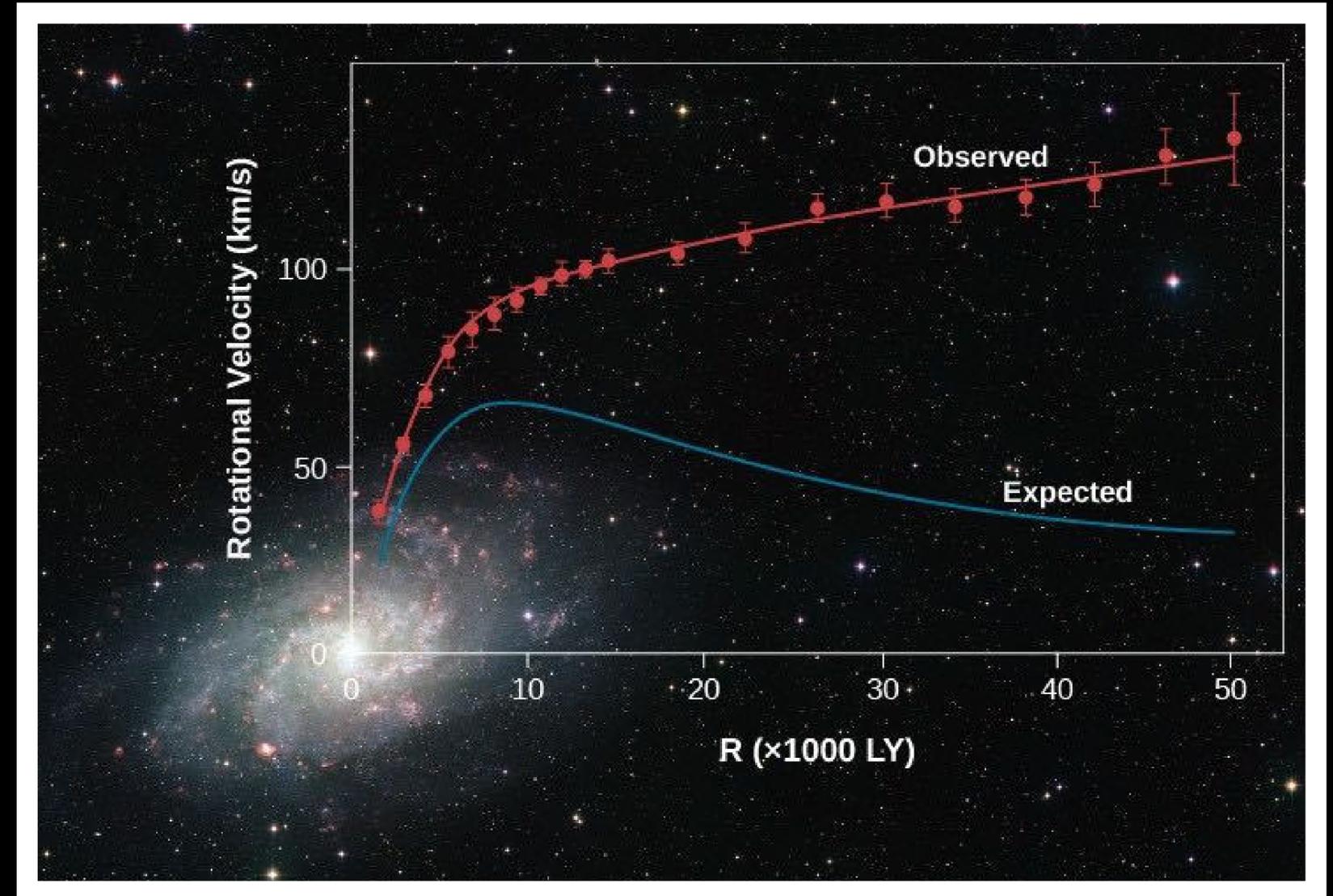
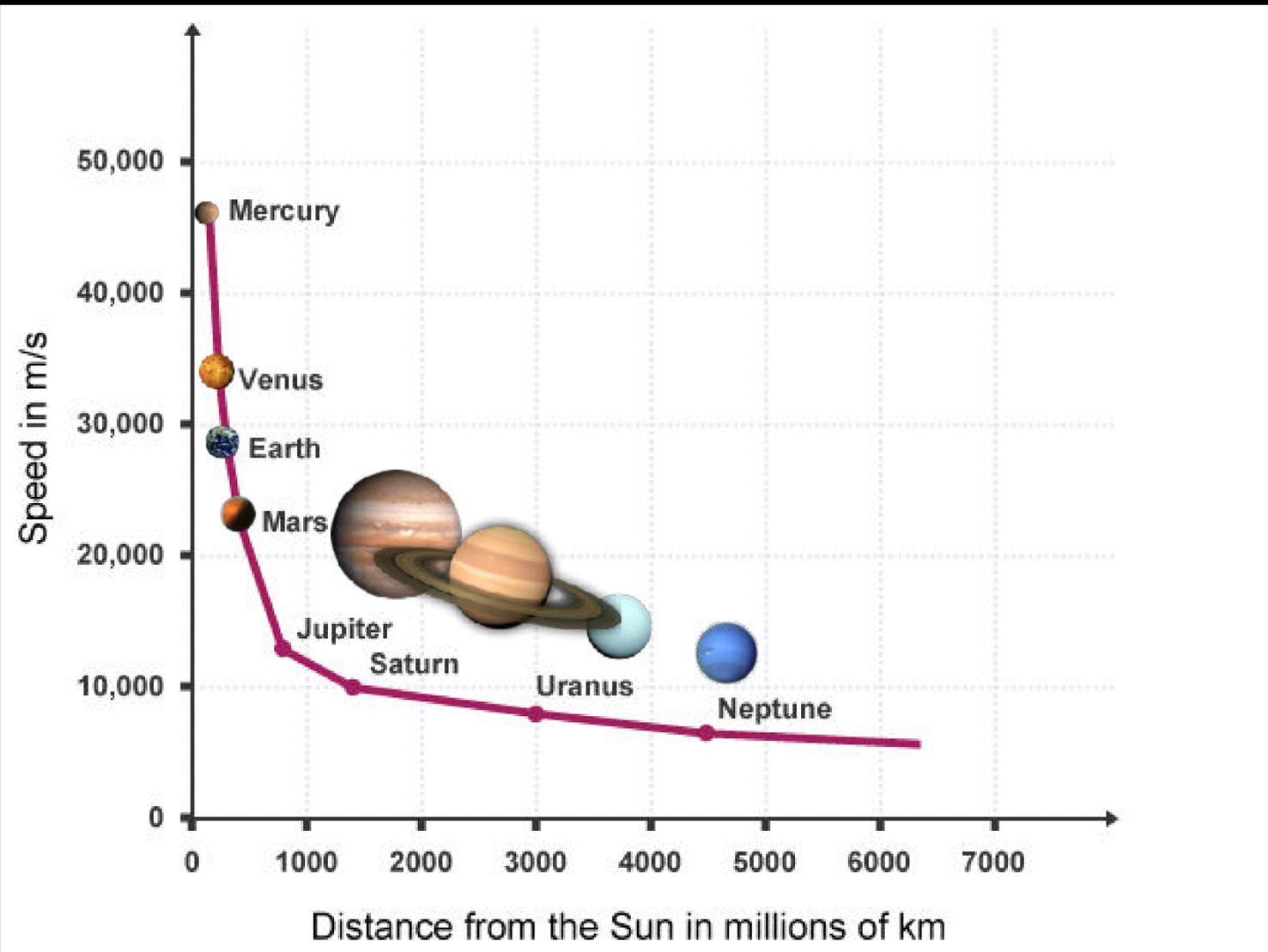
- Hasta 1967 los físicos creían saberlo todo sobre los componentes del universo
- Vera Rubin observando las estrellas de los brazos más exteriores de la galaxia Andrómeda descubrió algo que no encajaba
- Hipótesis: las estrellas orbitan alrededor del centro de la galaxia, similar a como los planetas orbitan alrededor del sol
- Los planetas más cercanos al Sol lo hacen más rápido que los más alejados y Rubin esperaba encontrar este mismo comportamiento



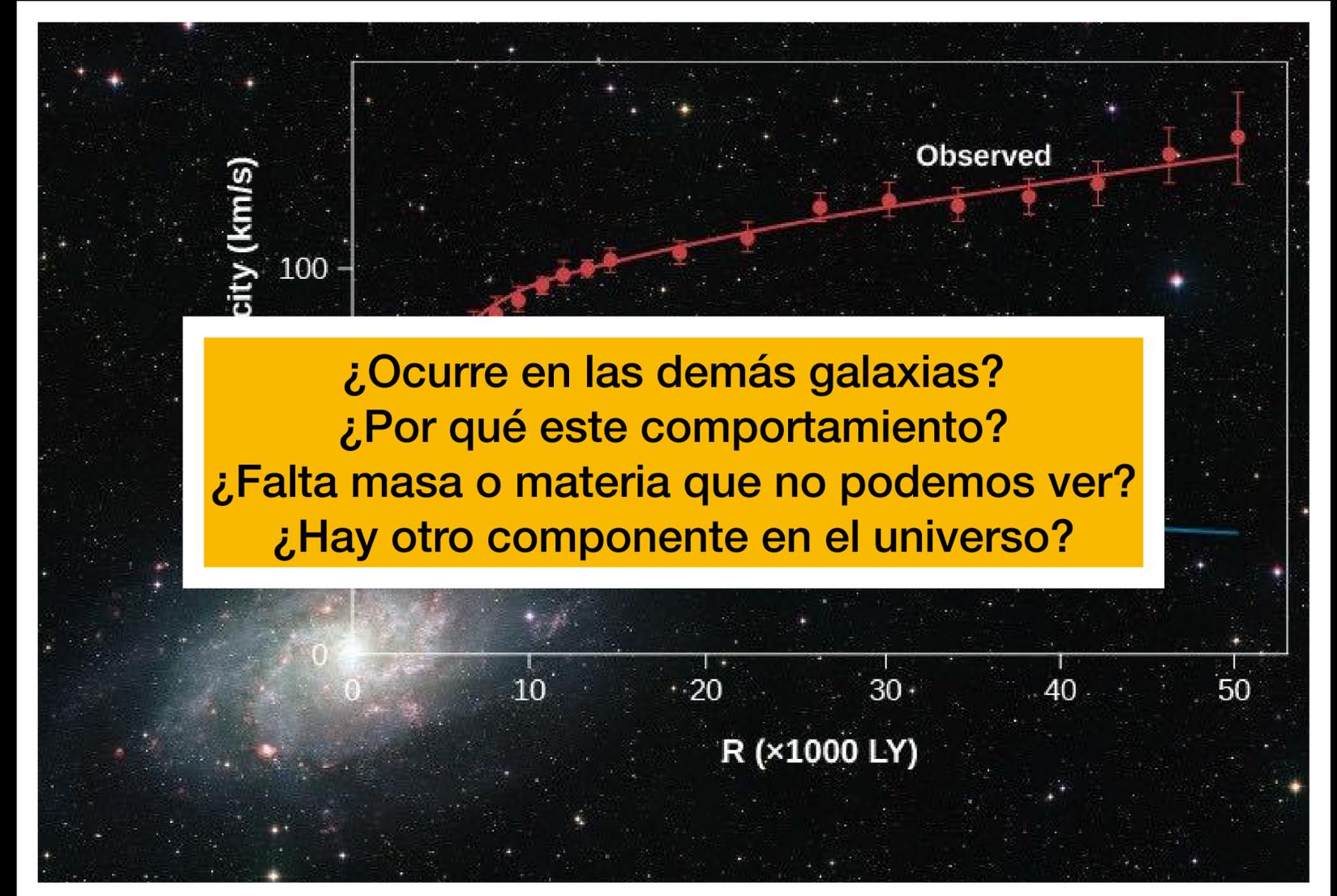
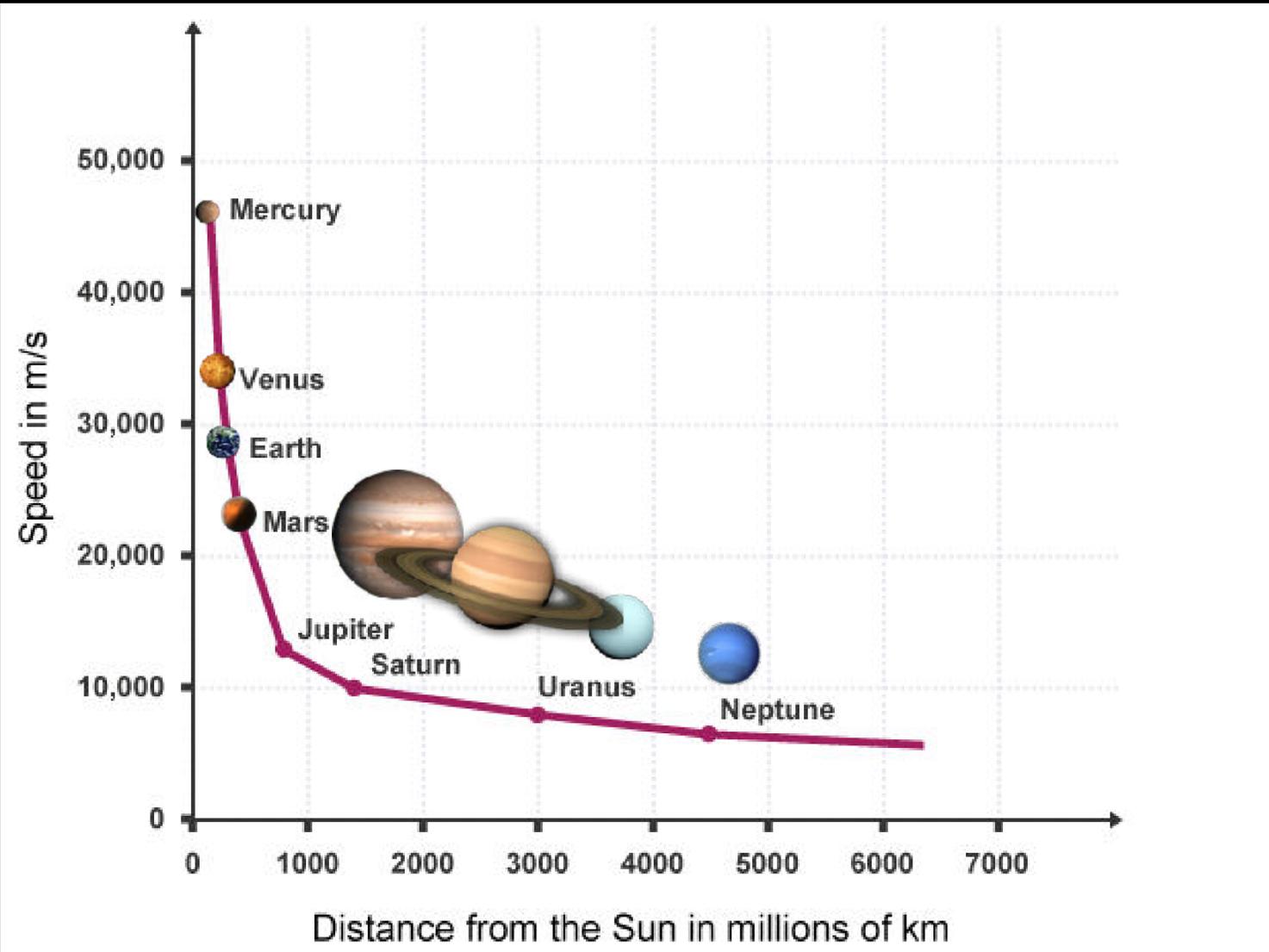
Velocidad de rotación



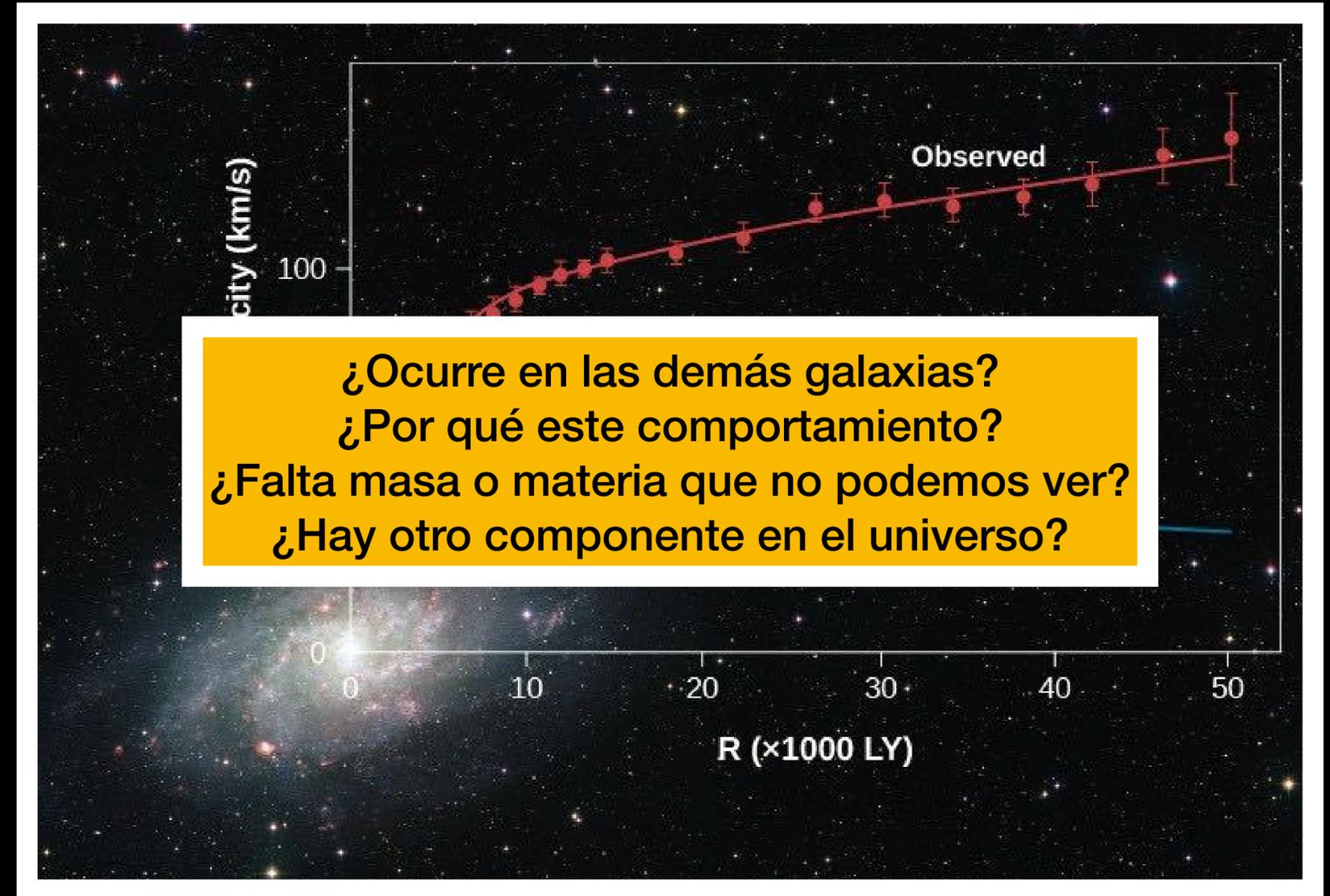
Velocidad de rotación



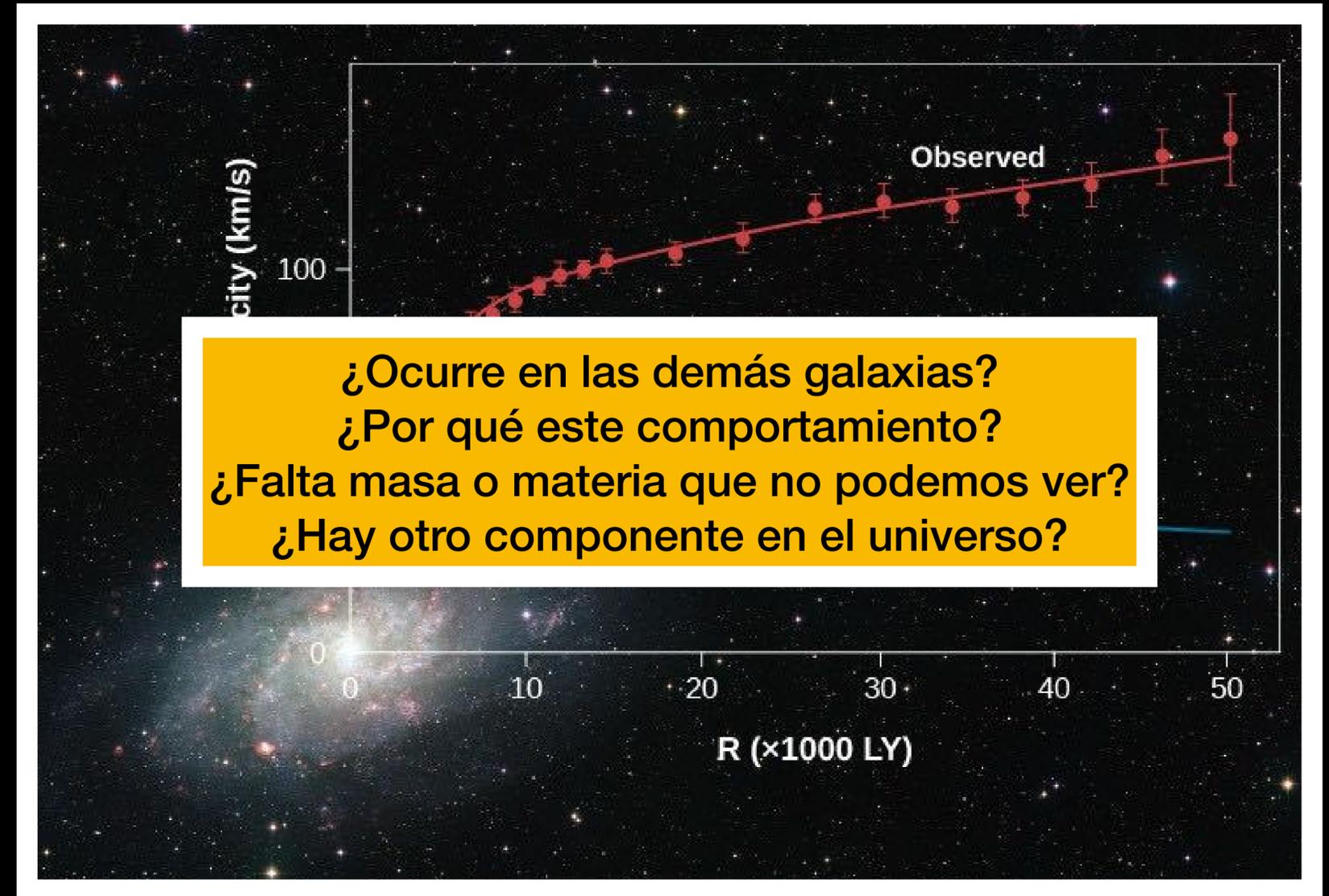
Velocidad de rotación



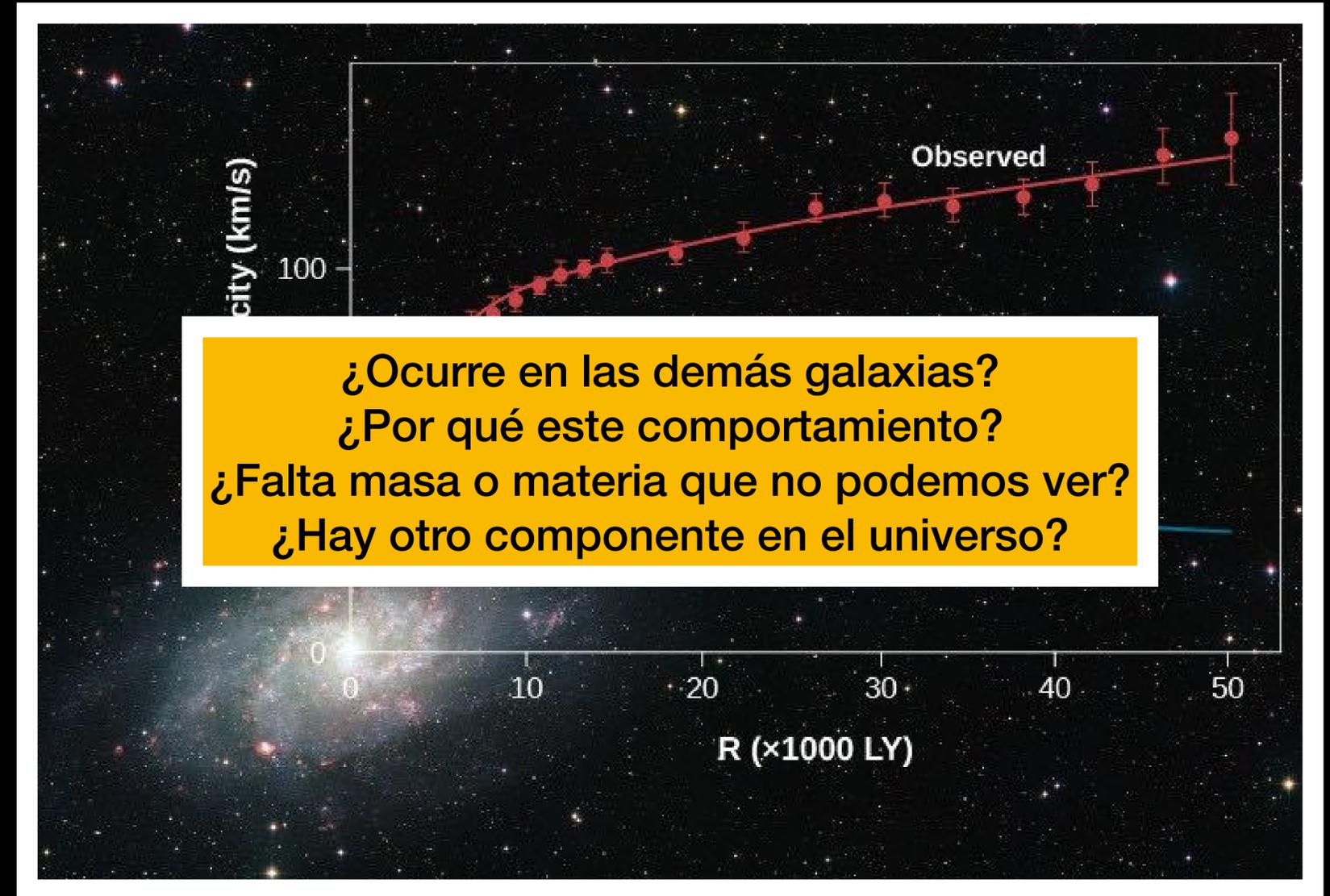
Cómo desciframos el misterio



Cómo desciframos el misterio



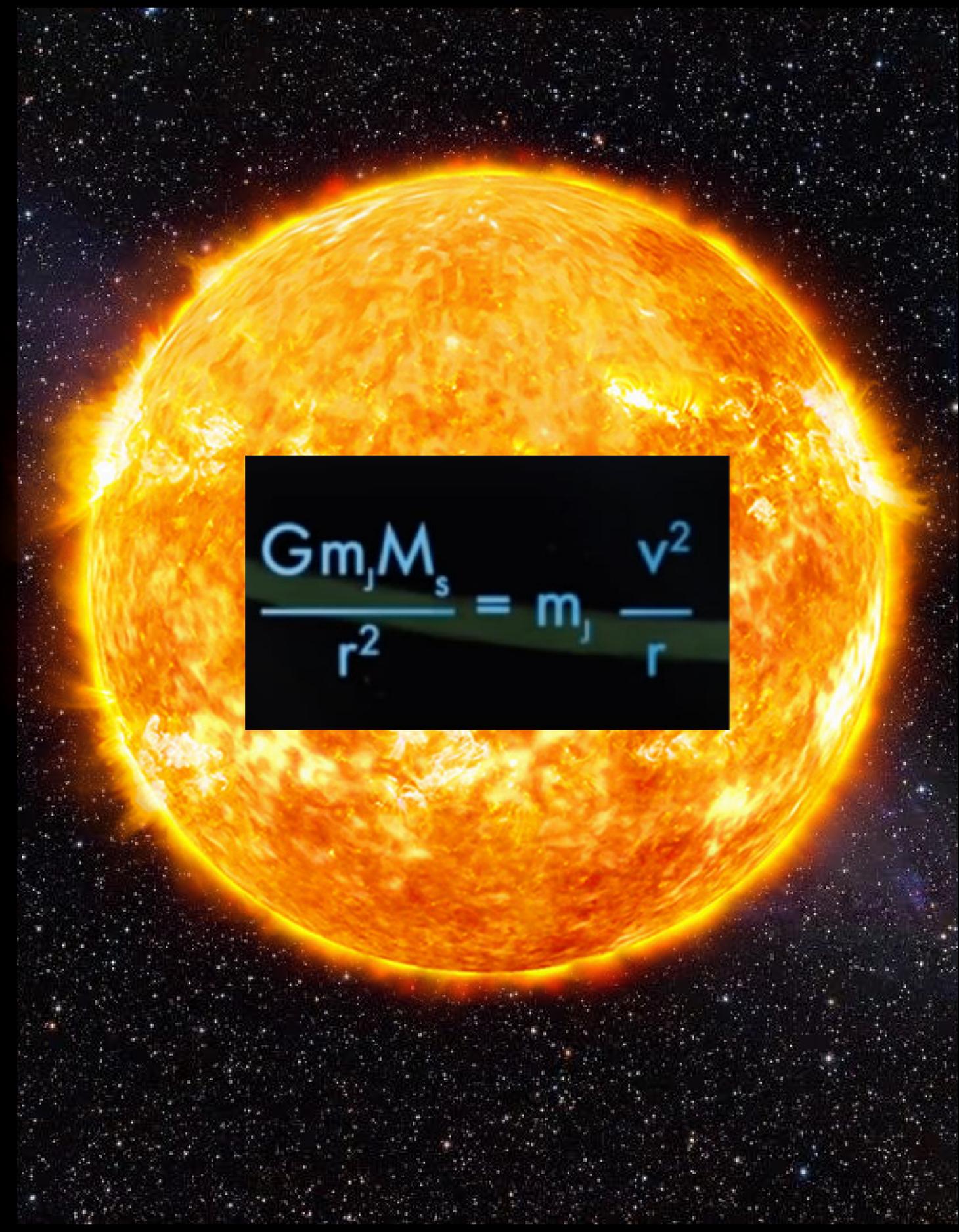
Cómo desciframos el misterio



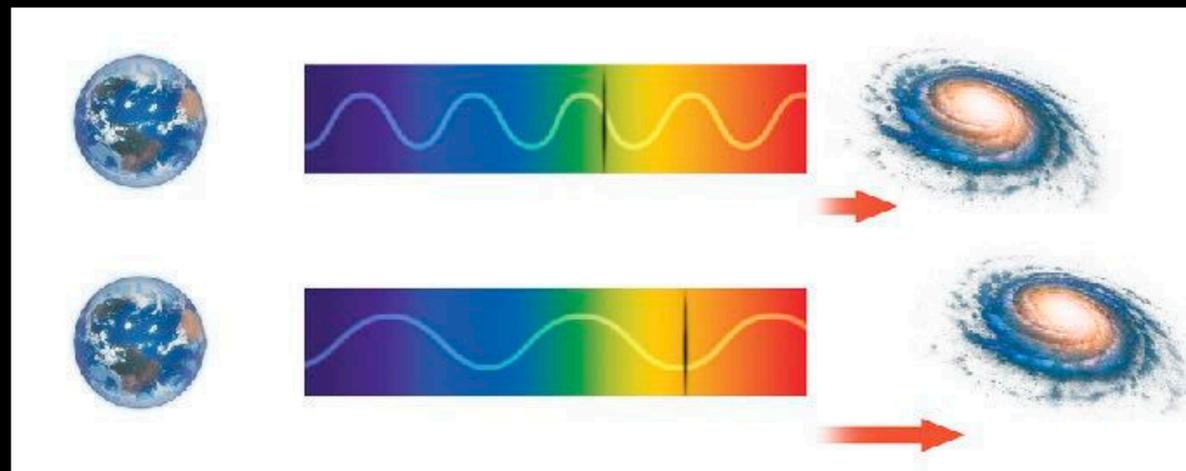
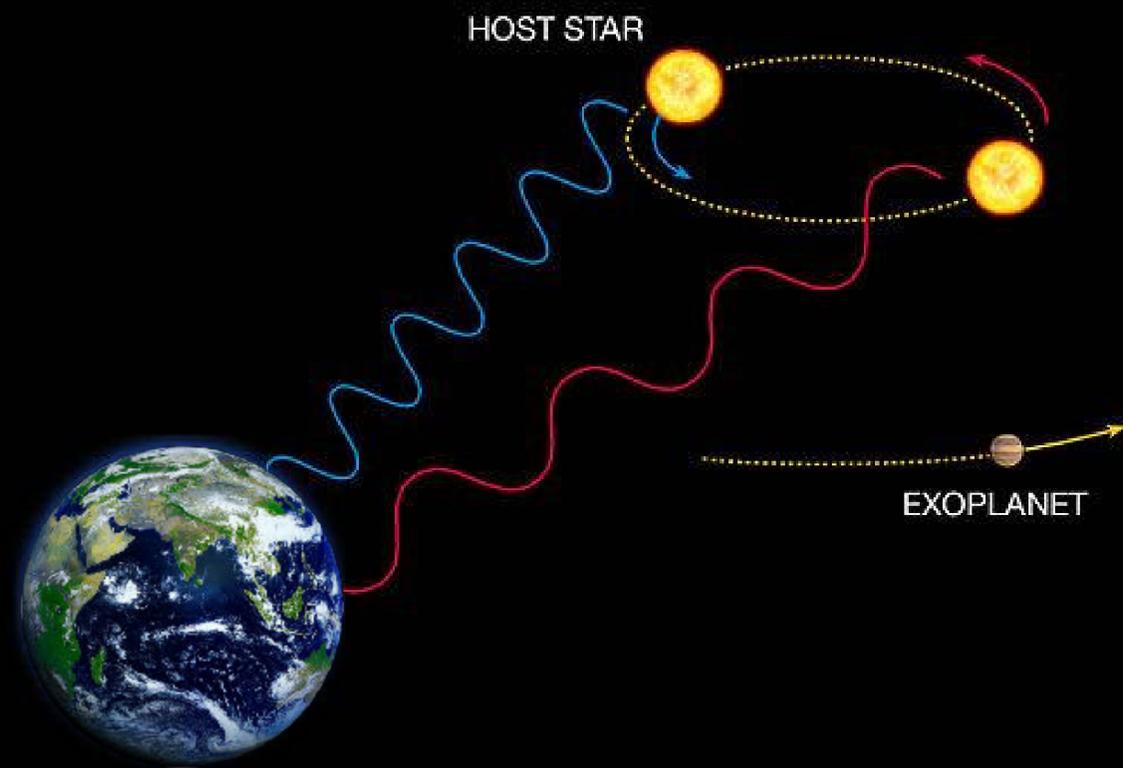
Medimos la masa

Método orbital

- ¿Cómo podemos medir la masa de cuerpos celestes como el Sol?
- Velocidad orbital y el radio de la órbita de un planeta
- Usando la fuerza gravitatoria y la 2ª ley Newton
$$M_s = 1,989 \text{ Quintillones de kg}$$
$$1989 \text{ 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 kg}$$
$$= 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$$
- ¿Y cómo se mide la masa de las galaxias?
- Aplicamos el mismo método y el radio de la órbita de una estrella



Redshift — desplazamiento al rojo



La masa de las galaxias

¡Nos falta masa en Andrómeda!

- El método orbital y el efecto Doppler

1340 Billones de veces la masa del Sol

$1340\ 000\ 000\ 000\ M_{\odot} = 1,3 \times 10^{12} M_{\odot}$

- El método del brillo

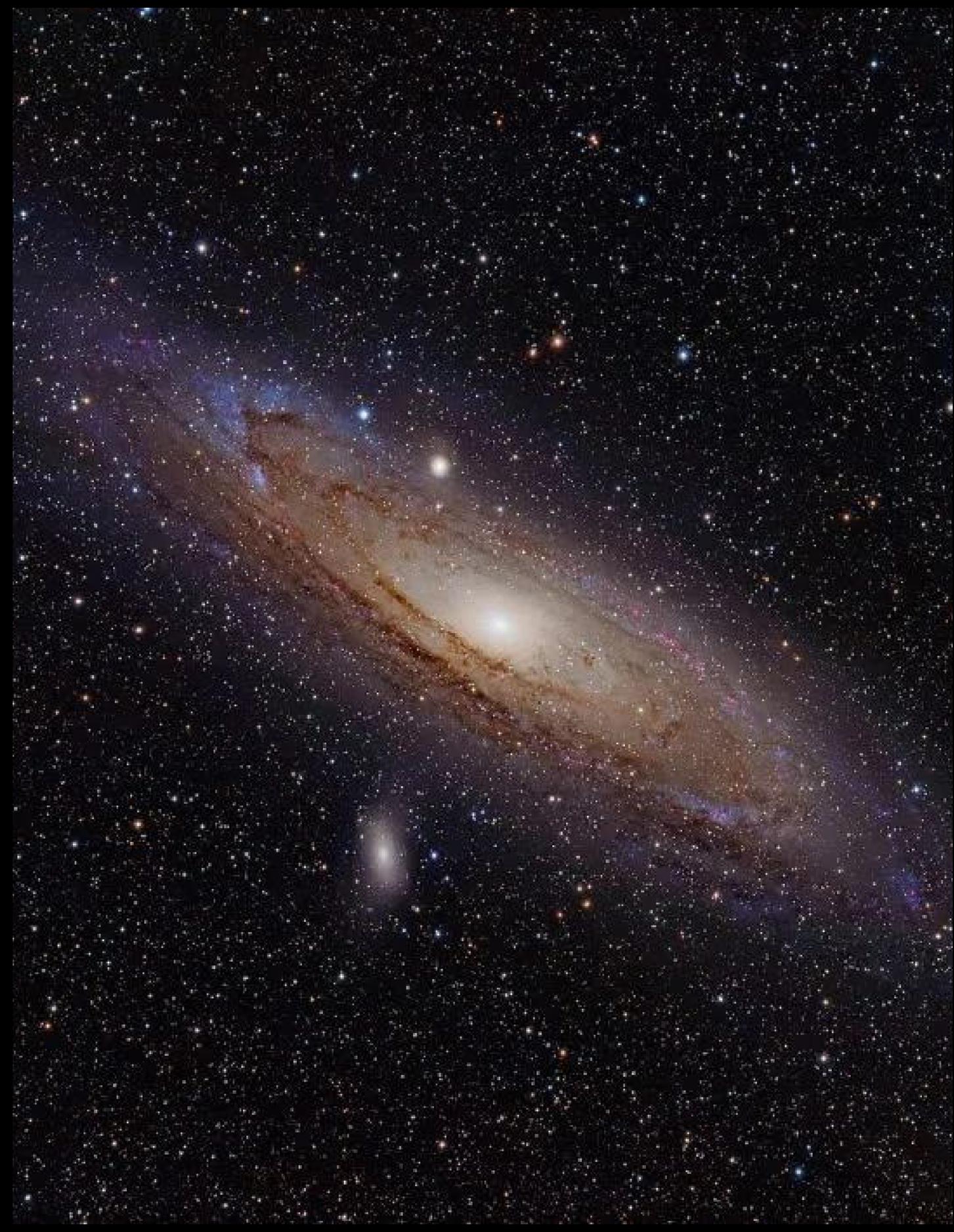
140 Billones de veces la masa del Sol

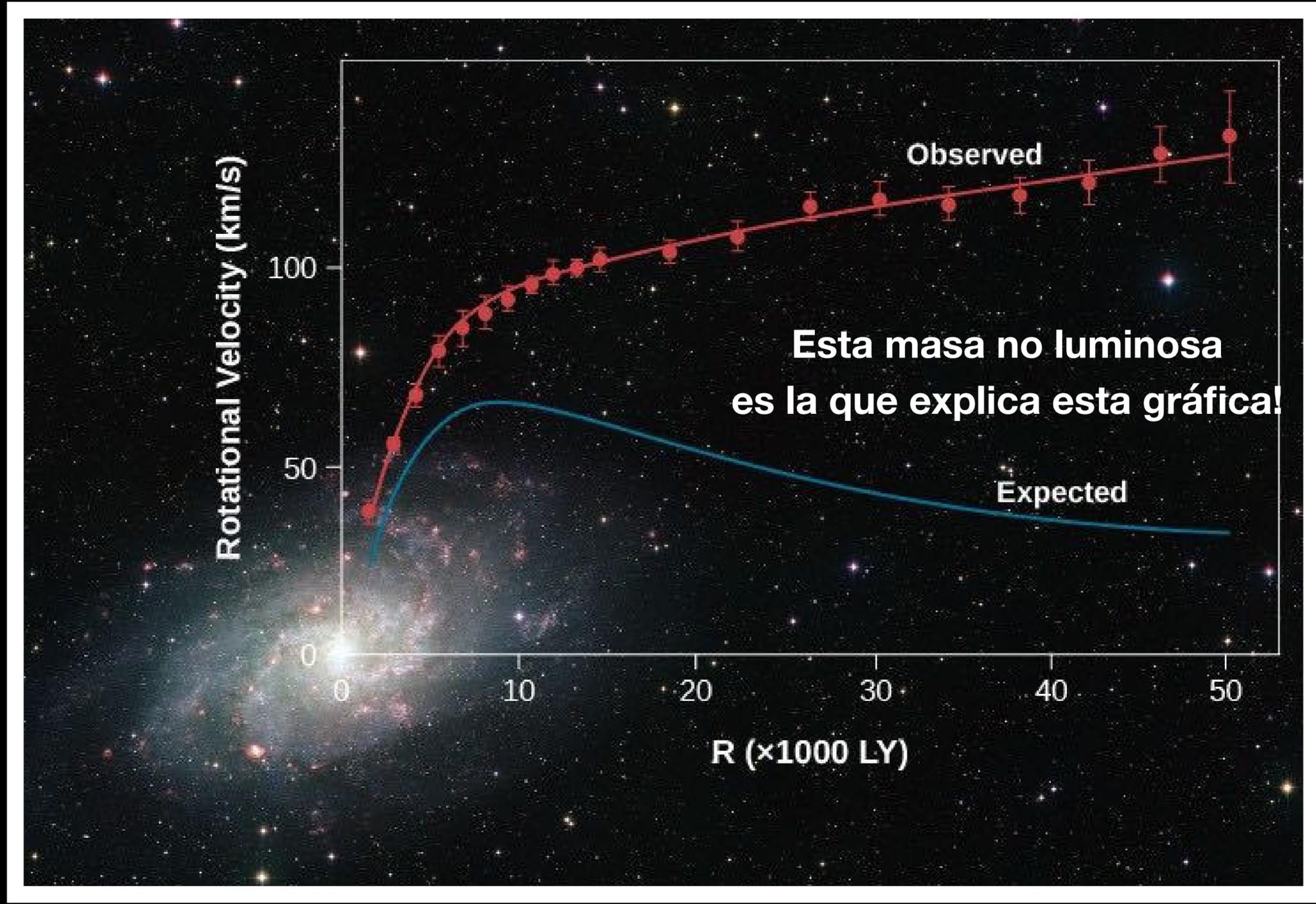
Discrepancia de 1200 Billones de soles!!!

$1,4 \times 10^{11} M_{\odot}$ materia luminosa (bariónica)

$1,2 \times 10^{12} M_{\odot}$ materia no luminosa:

¡OSCURA!

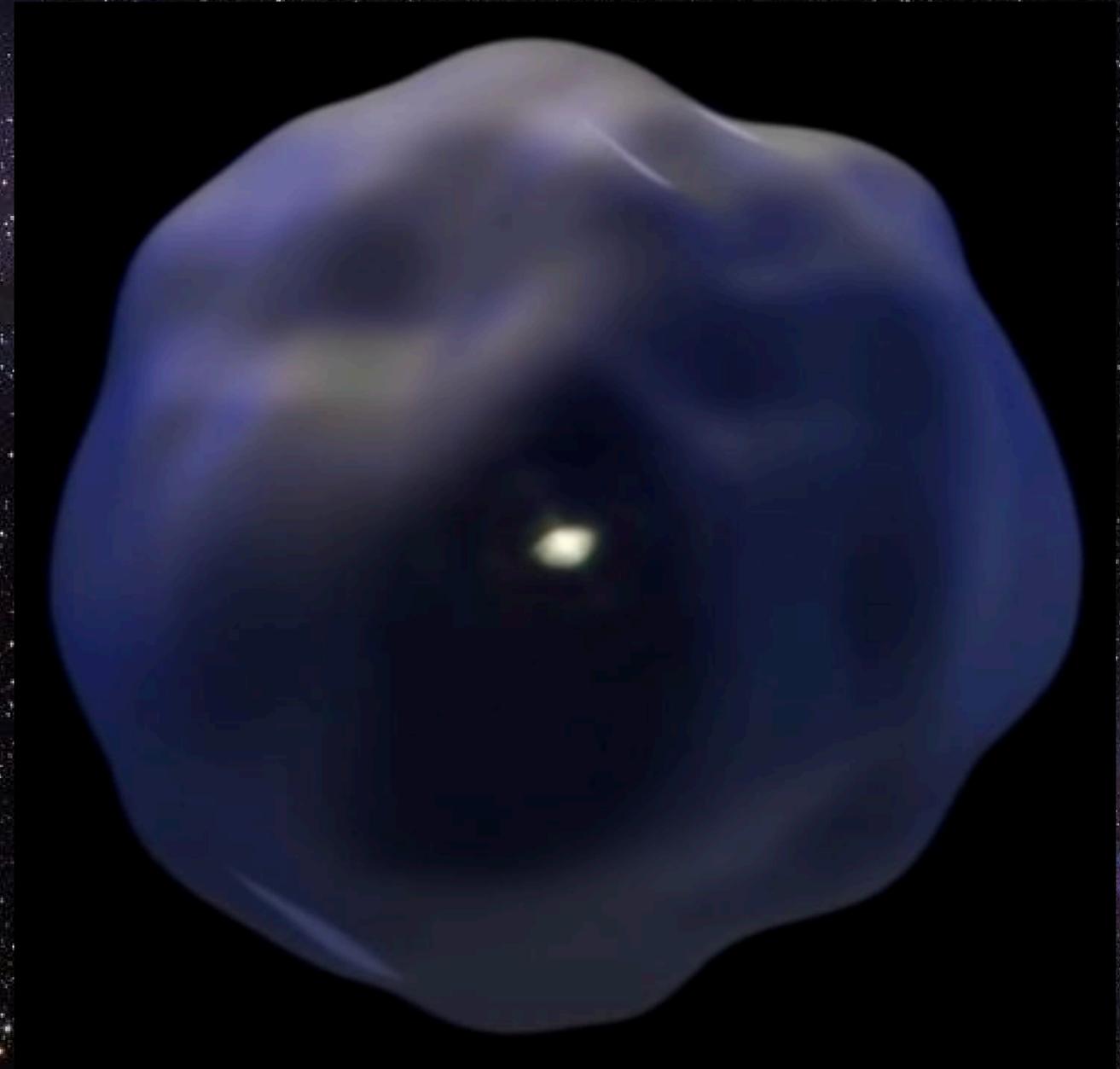


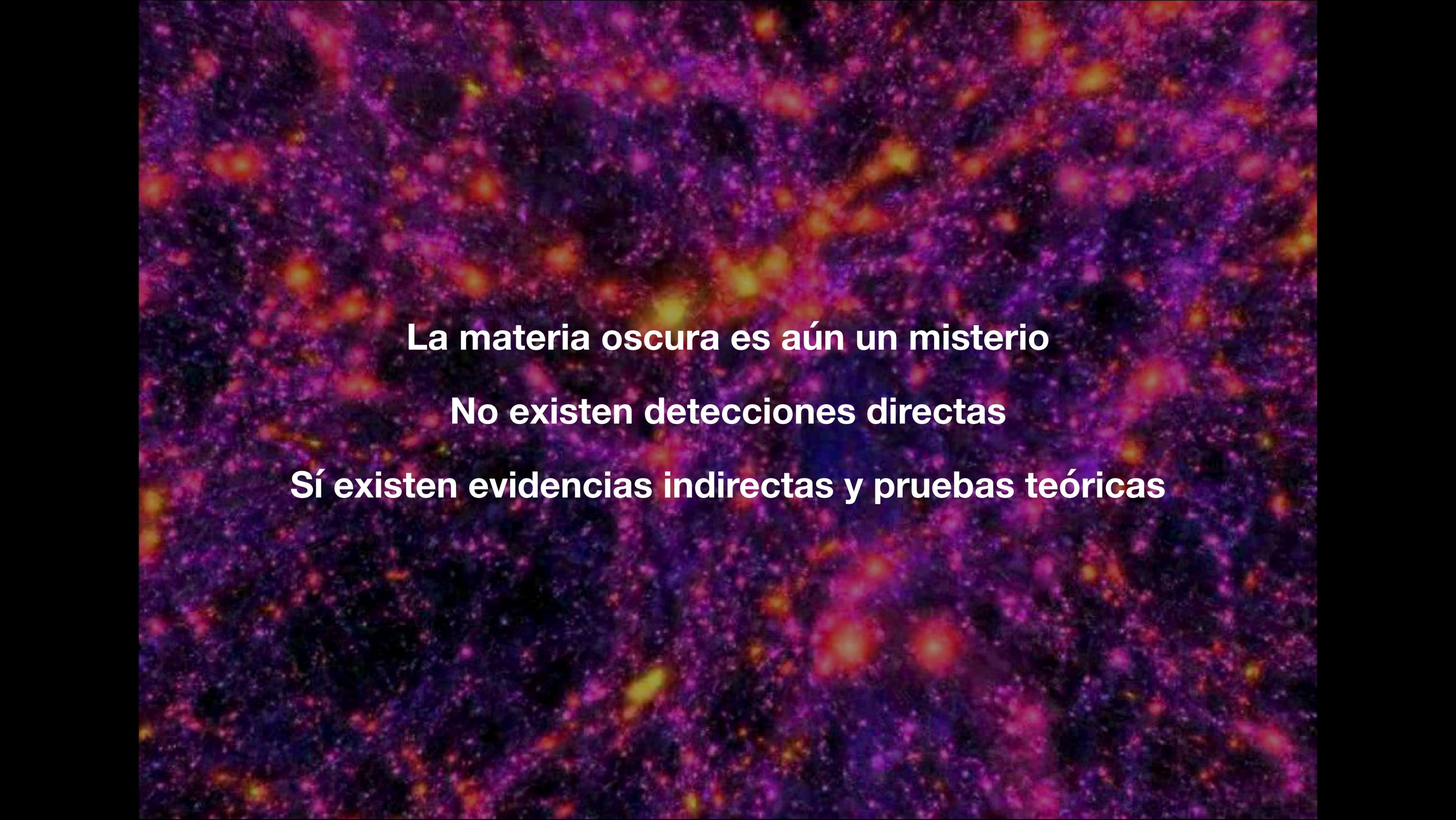


Halos de materia oscura

El hogar de las galaxias

- Científicos creen que todas las galaxias están envueltas en un halo de esta materia invisible
- Estos halos se extienden miles y miles de km más allá de las estrellas más lejanas de una galaxia
- Esta materia no interactúa con la luz
- Pero sí de manera gravitatoria





La materia oscura es aún un misterio

No existen detecciones directas

Sí existen evidencias indirectas y pruebas teóricas

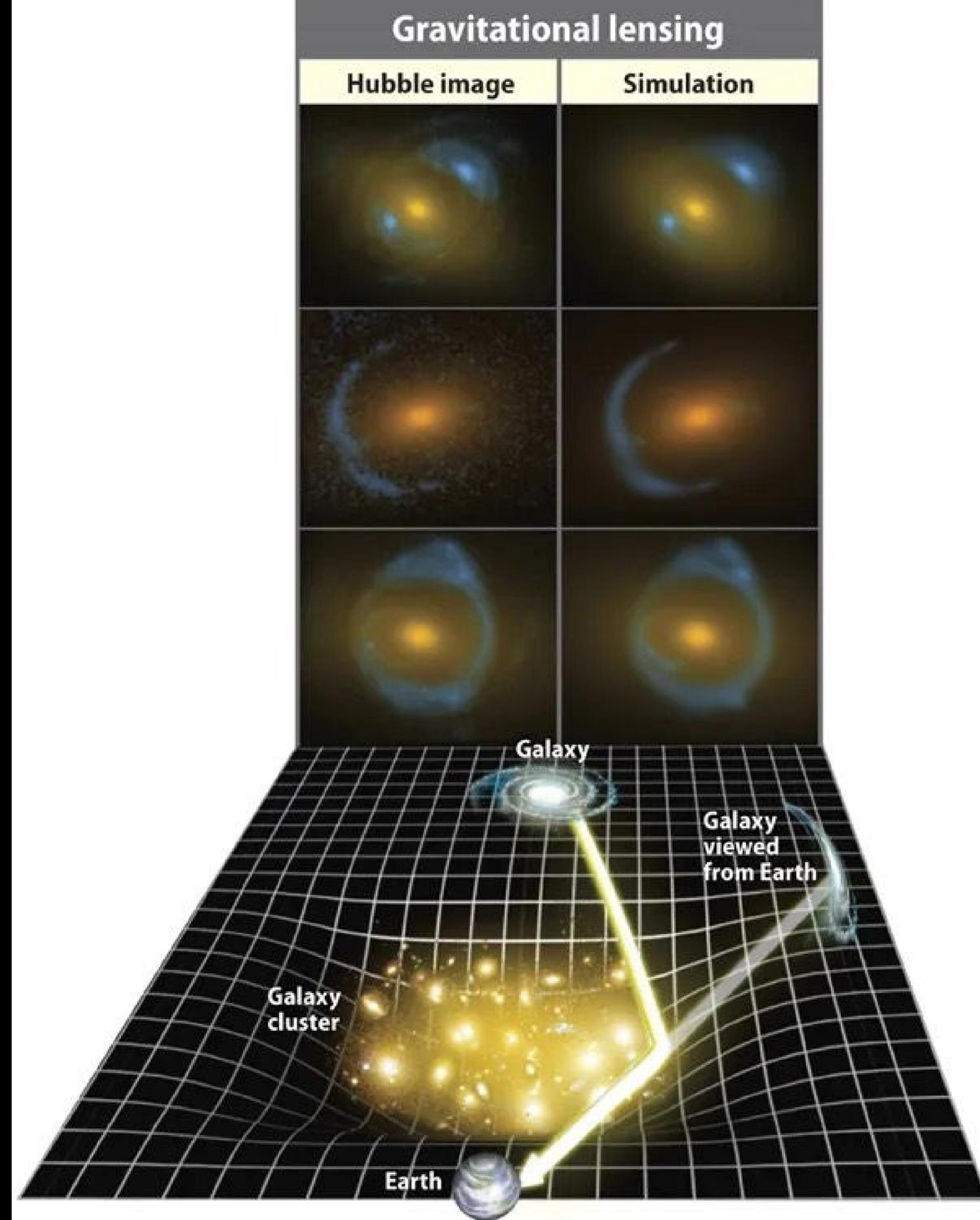
Evidencias por Albert Einstein

The background of the image is a dark, starry night sky. In the lower half, there is a prominent, colorful nebula or galaxy structure, likely the Milky Way, showing a mix of purple, blue, and reddish hues. The text "Evidencias por Albert Einstein" is overlaid in the center-left area in a bold, white, sans-serif font.

Lentes Gravitatorias

La gravedad “dobla” la luz

- La luz viaja en línea recta
- La materia “dobla” la malla espacio temporal
- Al observar una galaxia lejana, su luz se ve distorsionada por la materia que encuentra en su camino

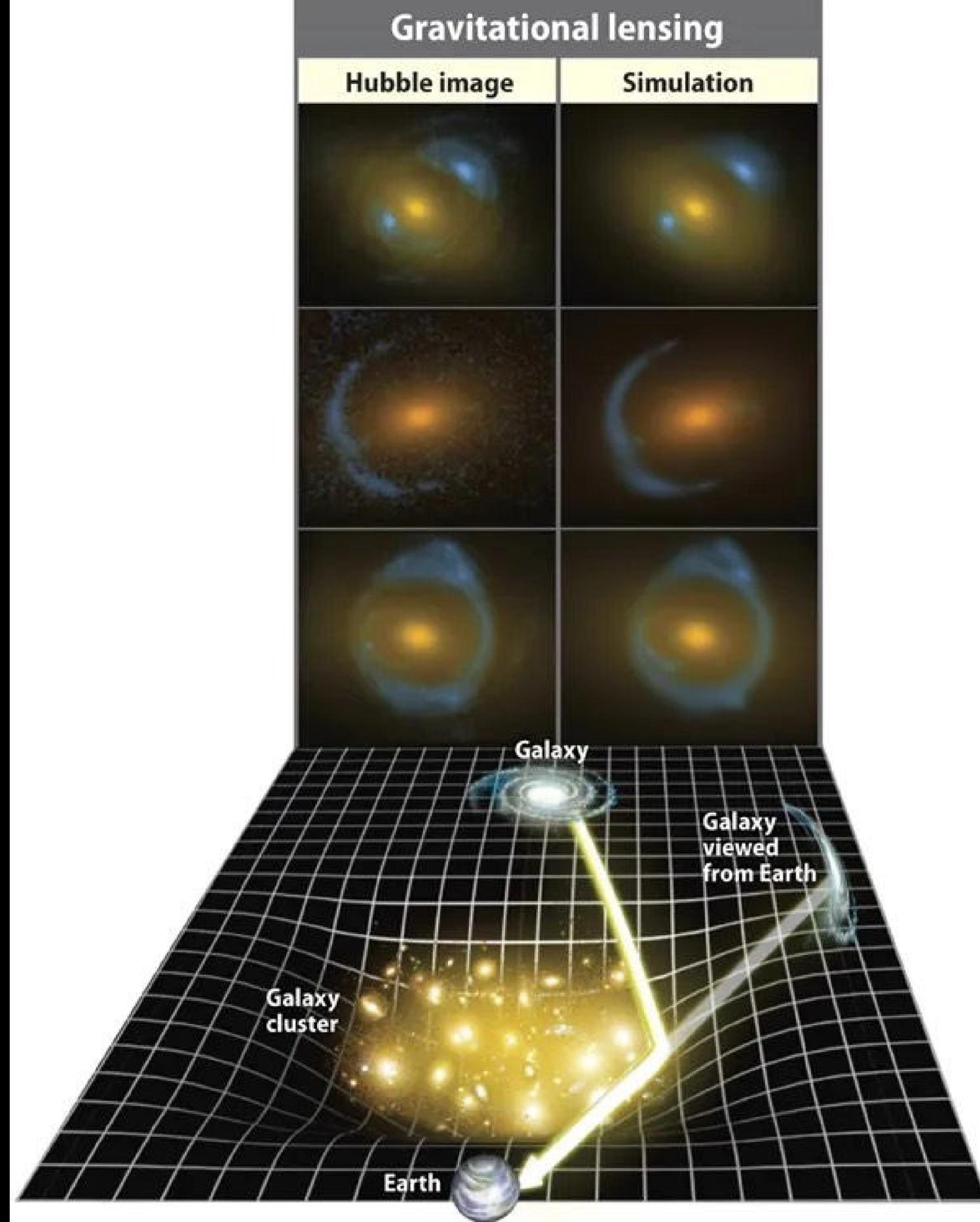


Lentes Gravitatorias

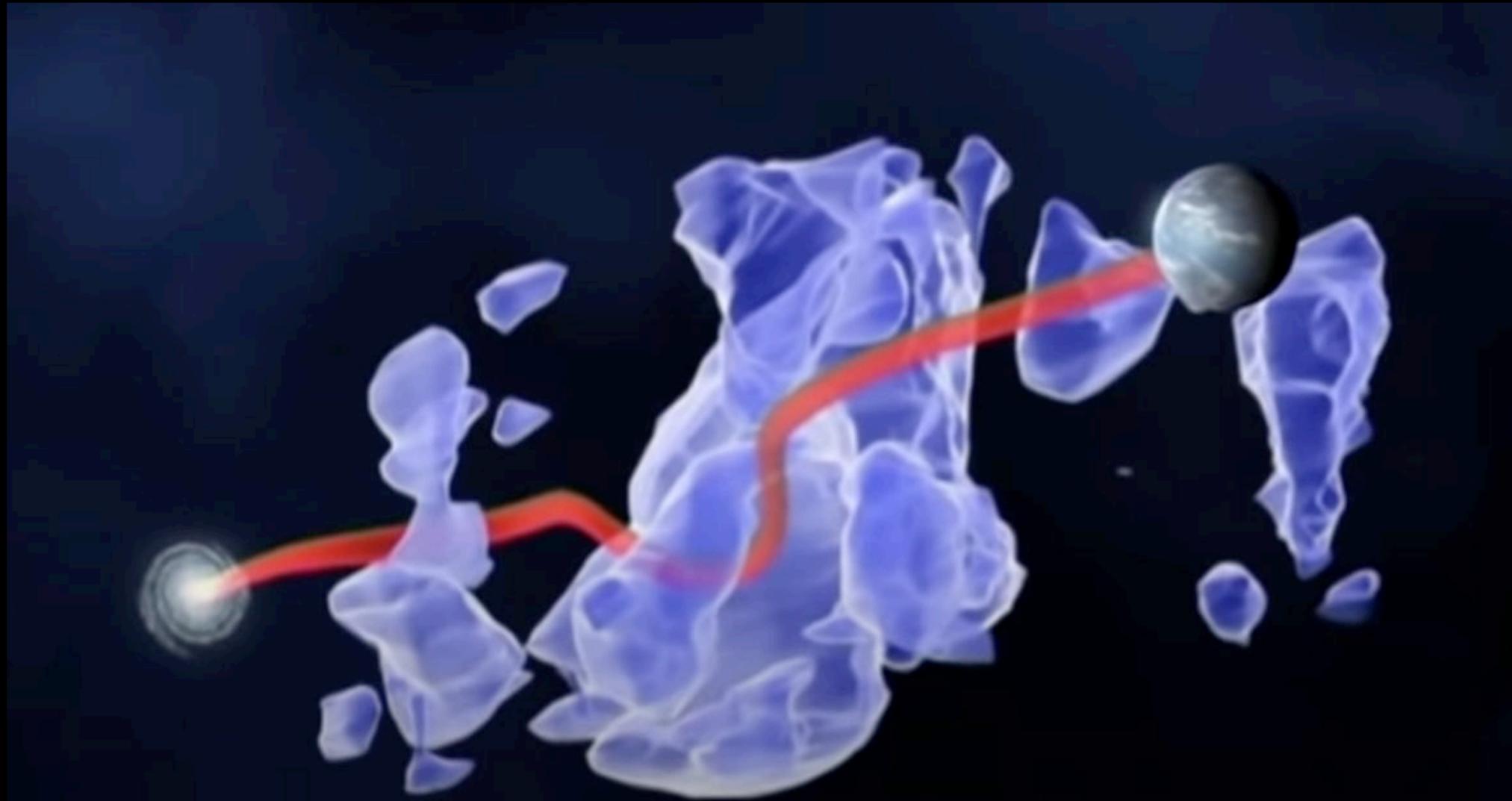
La gravedad “dobla” la luz

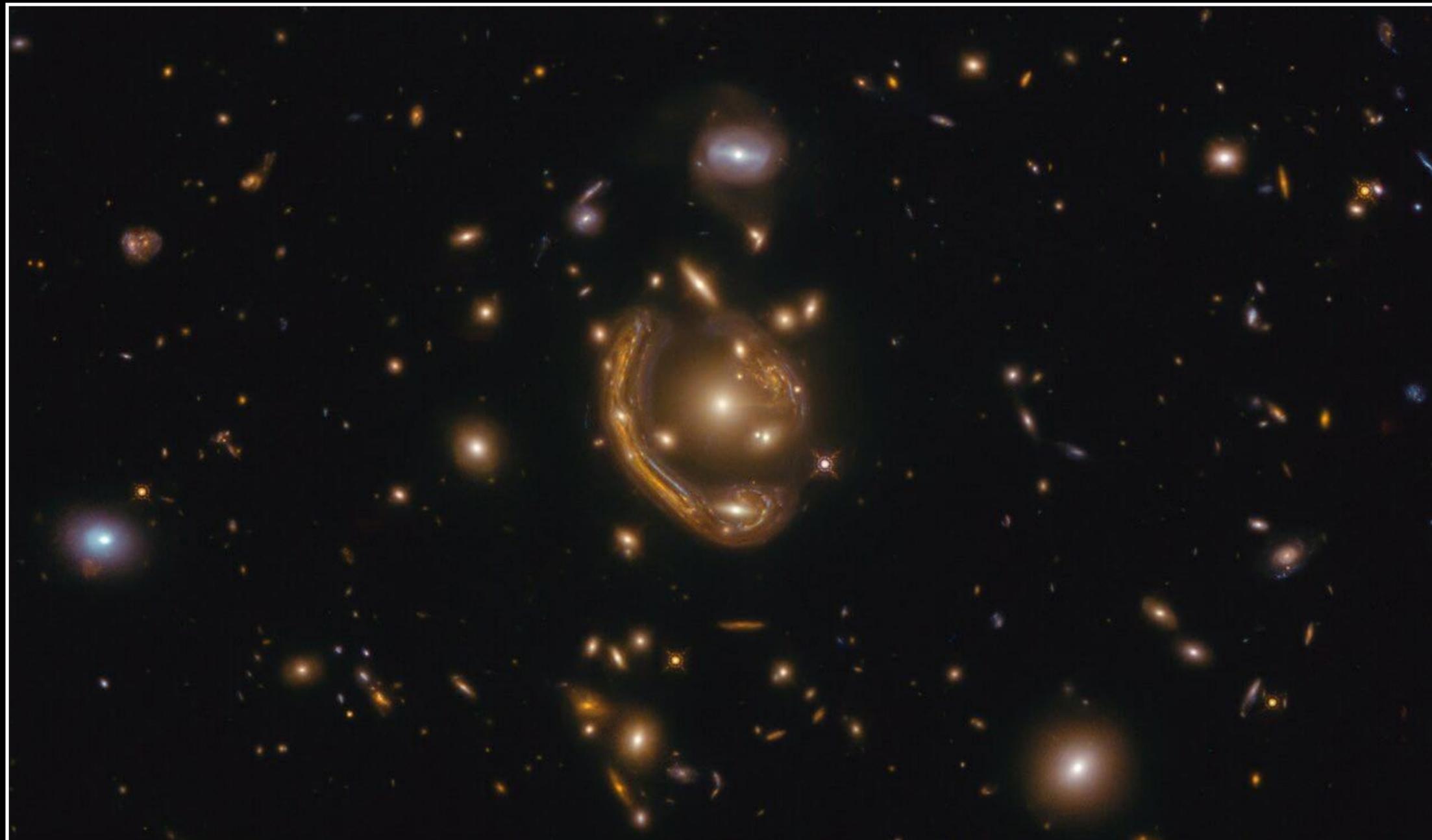


- Igual que un vaso distorsiona las imágenes de los objetos
- Este efecto de lente gravitatoria proporciona evidencias de la existencia de materia oscura



Detectamos materia oscura a través de lentes gravitatorias





Los anillos de Einstein, ESA/NASA Hubble, JWST

Desafiando las ecuaciones de Einstein

Tesis doctoral, Dr L. F. De la Bella, 2018

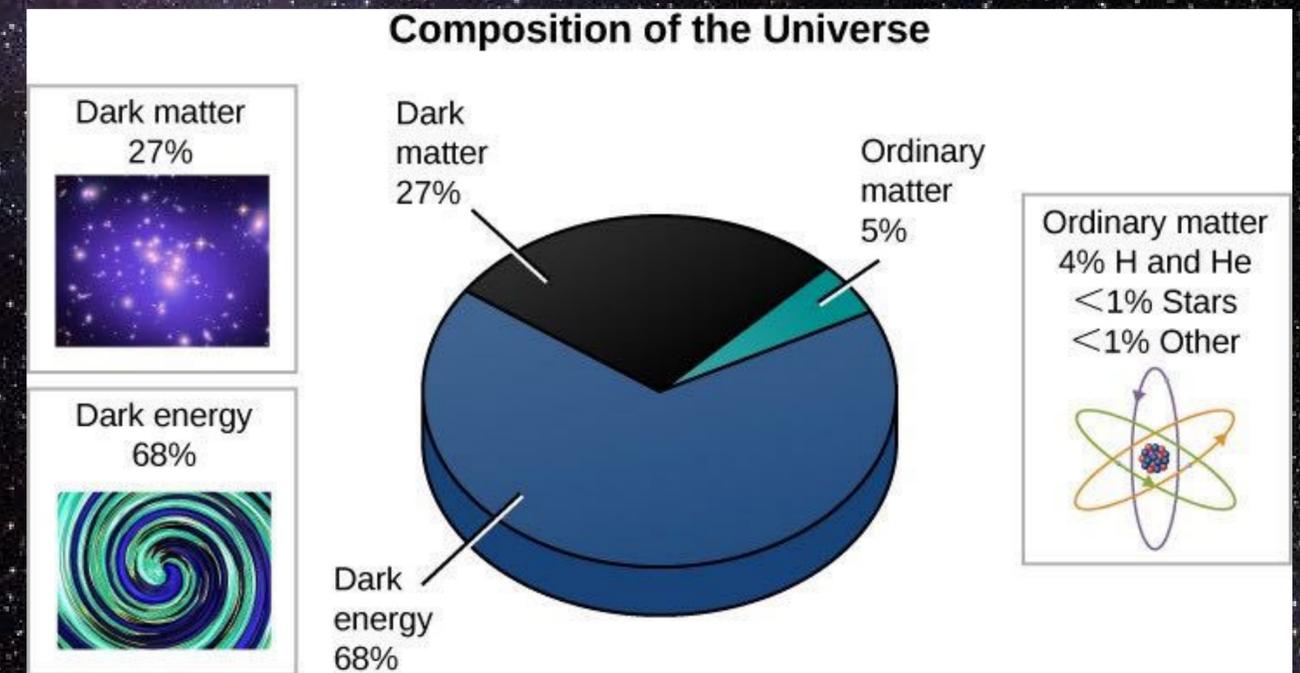
“The matter and halo power spectra in redshift space using effective field theory”

Componentes del Universo

El Universo como un fluido

- Modelo Cosmológico Estándar
- En el presente, el universo está formado por
 - Materia normal (bariónica) ~5%
 - Radiación <0,001%
 - Componentes exóticos
 - Materia Oscura 27%
 - Energía Oscura 68%

Porcentajes = **densidad energética**



Las escalas del Universo

Escalas = distinta “grumosidad”

- A gran escala, el universo es suave y homogéneo
- A escalas intermedias, empezamos a apreciar estructuras
- A pequeña escala, el universo es grumoso y heterogéneo. Hay muchos detalles.

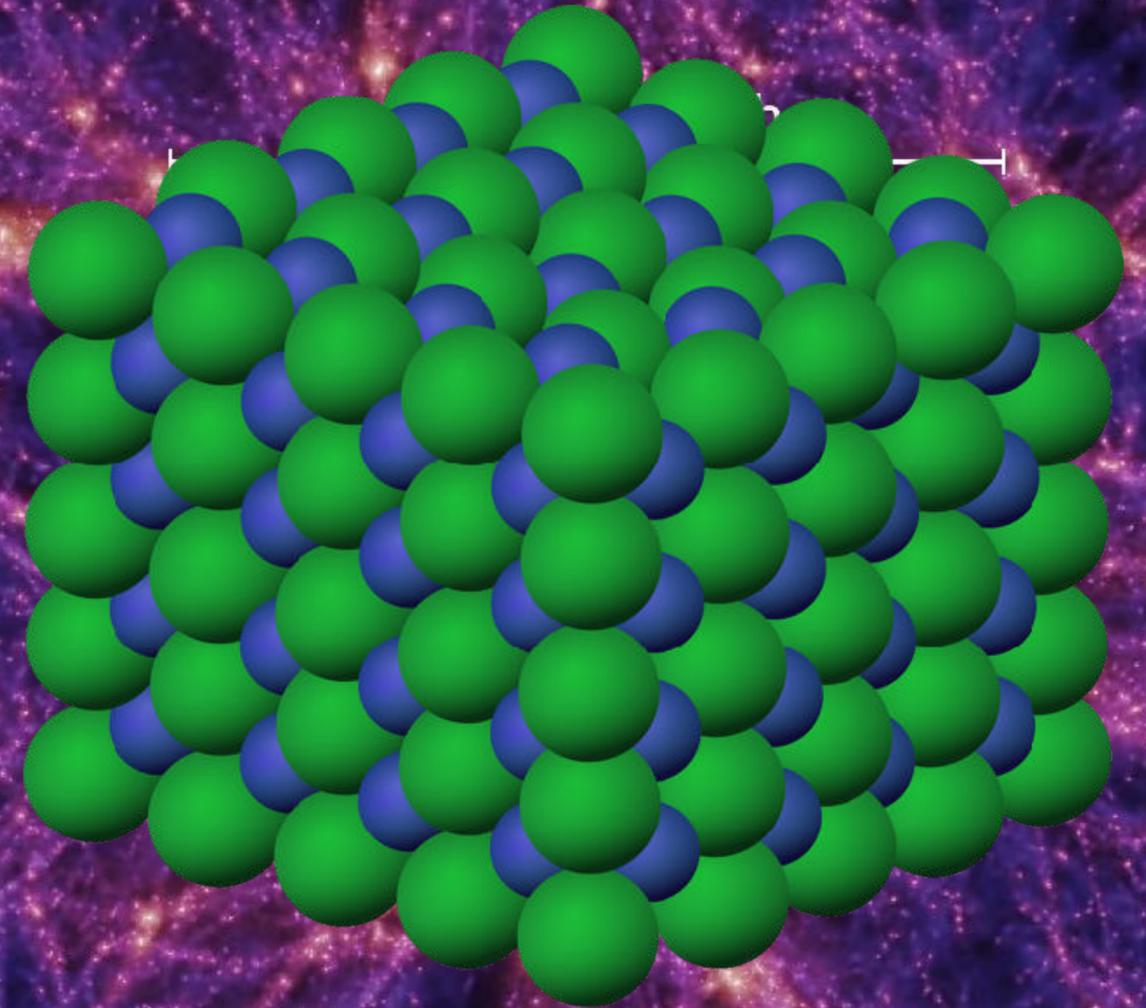
¡Lo que ocurre a pequeña escala afecta al universo a gran escala!



Medimos la densidad

Densidad = masa / volumen

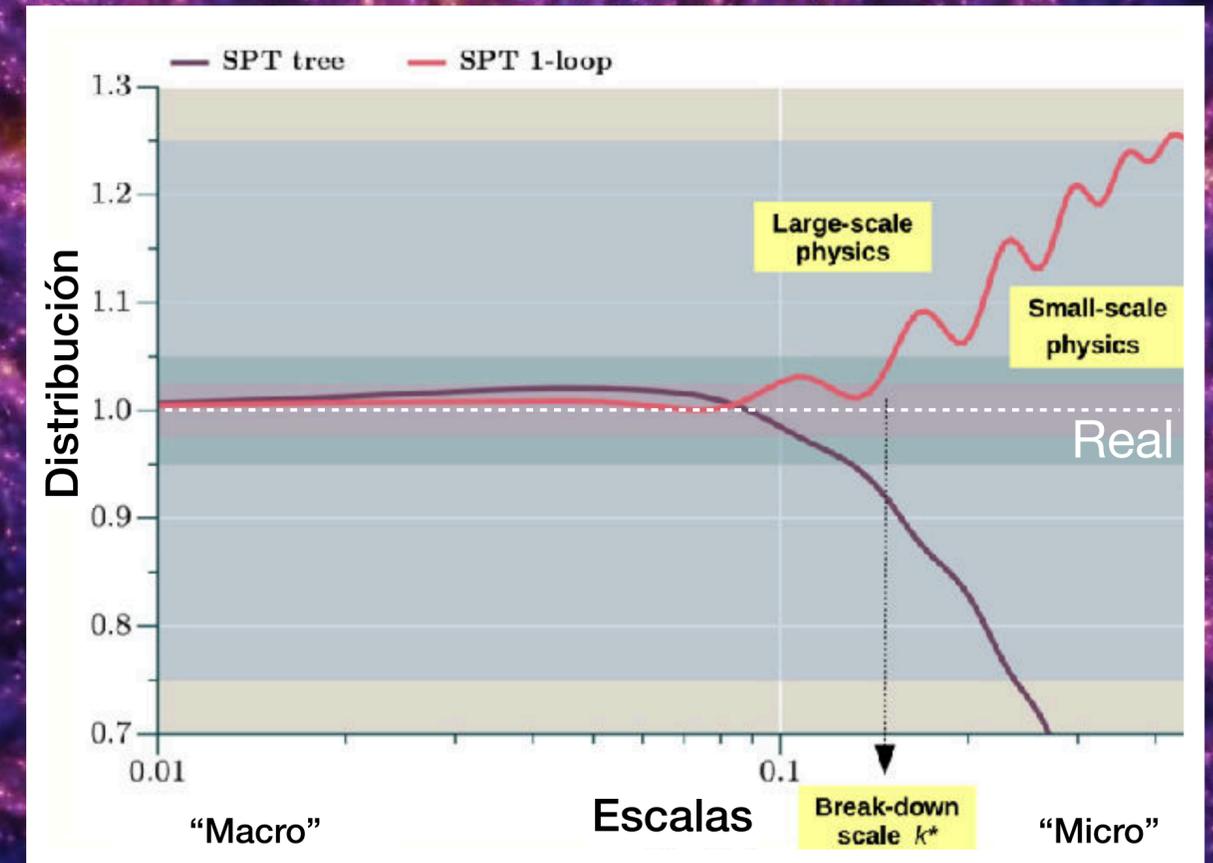
- La densidad es una característica macroscópica
- Se ve afectada por la física de las partículas microscópicas
- En cosmología:
 - **Densidad energética** es una medida de la distribución (perturbación) de materia oscura
 - Necesitamos un modelo teórico
 - Resolvemos las ecuaciones de Einstein para fluidos
 - Y comparamos con datos observacionales



Modelo Estándar de Perturbación

La materia oscura es un fluido perfecto

- Las partículas “no chocan entre sí”
- No se tiene en cuenta el efecto de las pequeñas escalas
- Las predicciones teóricas del modelo estándar no coinciden con las observaciones del universo real



Necesitamos un ajuste teórico

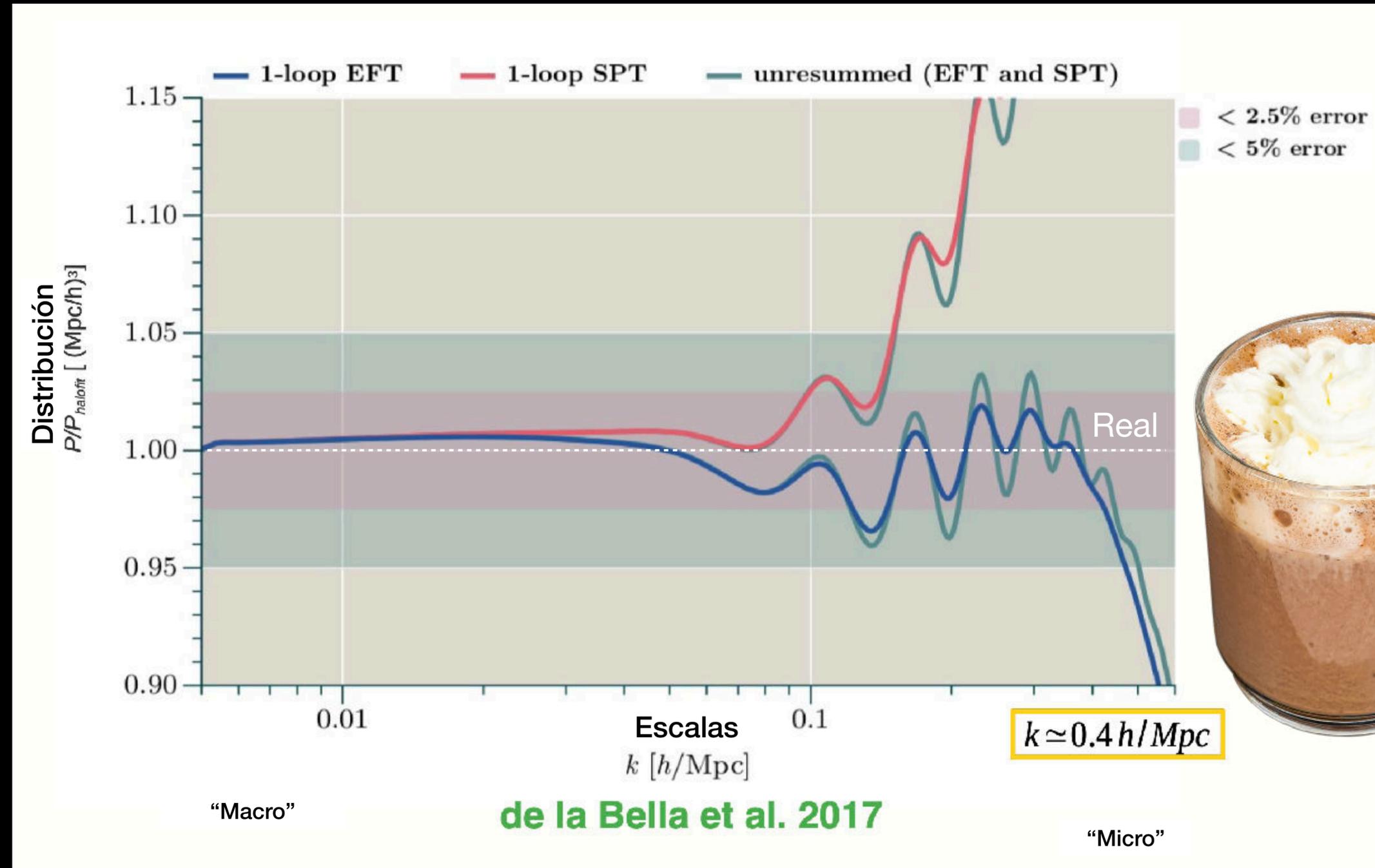
Teorías de Campo Efectivo

La materia oscura **NO** es perfecto

- Las partículas “chocan entre sí”
- El fluido es viscoso como un chocolate
- Lo que ocurre a pequeña escala afecta la distribución de materia a gran escala (tiene un efecto en su densidad)
- Teorías de campo efectivo
 - codifican toda esa información microscópica en un sólo parámetro
 - y resuelven el problema del modelo estándar



Teorías de Campo Efectivo



Conclusiones

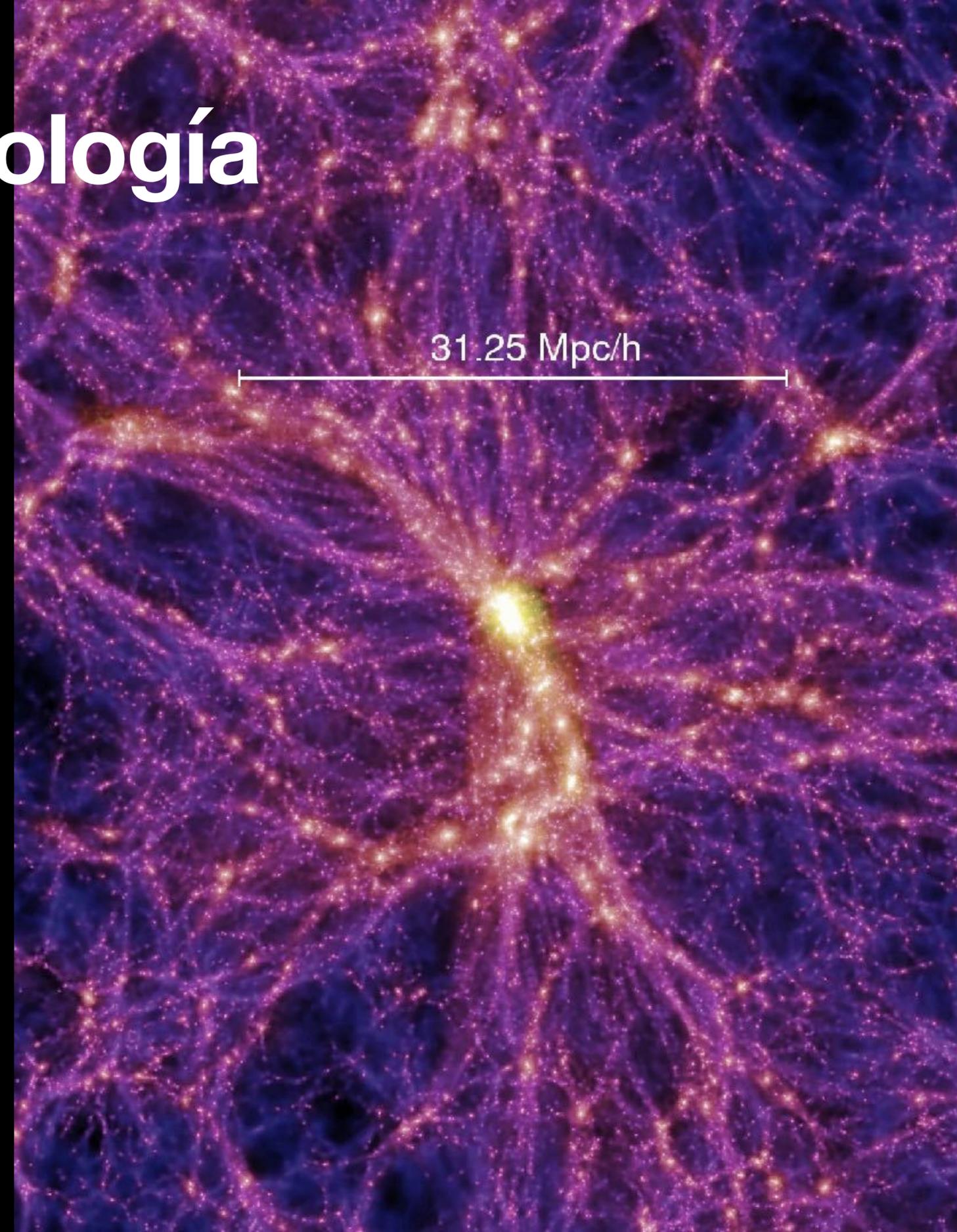
Tesis doctoral, Dr L. F. De la Bella, 2018

“The matter and halo power spectra in redshift space using effective field theory”

Materia Oscura en Cosmología

Mensajes para llevarnos a casa

- Tratamos el universo como un fluido
- Las galaxias son puntos como las partículas de agua
- Cada galaxia está rodeada por un halo de materia oscura
- Estudiamos el universo
 - Calculando distancias
 - Observando la grumosidad (clustering)
 - Observando cómo se “dobla” la luz



Materia Oscura en Cosmología

Mensajes para llevarnos a casa

- En el universo hay distintas escalas
- Lo que ocurre a escala microscópica afecta a las escalas macroscópicas
- El modelo estándar de perturbación no consigue describir lo que observamos
- Teorías de campo efectivo codifican la información microscópica y resuelven el problema

La materia oscura como una taza de chocolate caliente





¿Preguntas?

¡Muchas gracias!