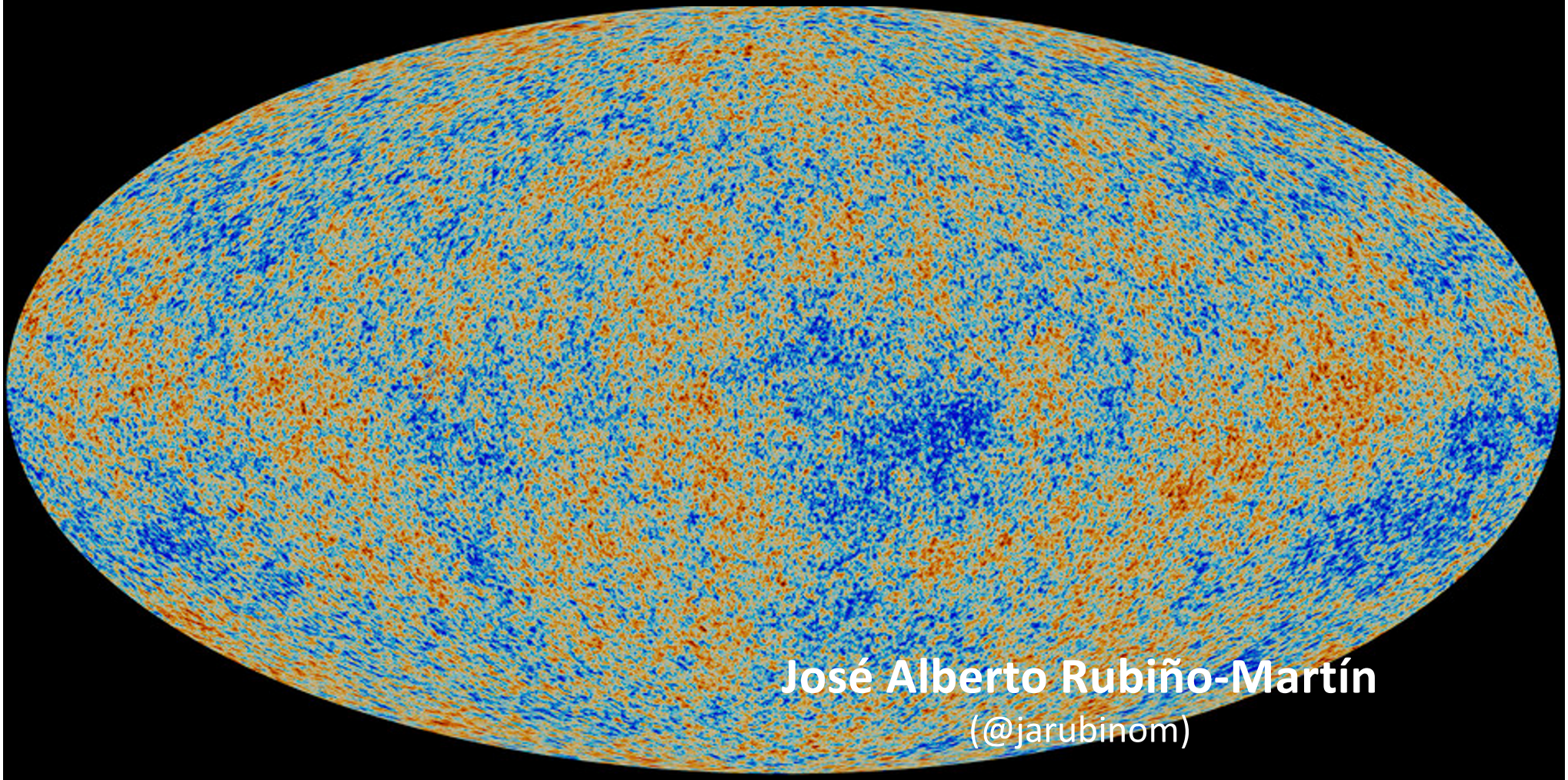
El Fondo Cósmico de Microondas:
Desvelando el origen del Universo



José Alberto Rubiño-Martín
(@jarubinom)

SEA 2020 - REUNIÓN CIENTÍFICA VIRTUAL / ONLINE SCIENTIFIC MEETING

13 de Julio de 2020

Telescopio TNG. ORM / IAC. La Palma

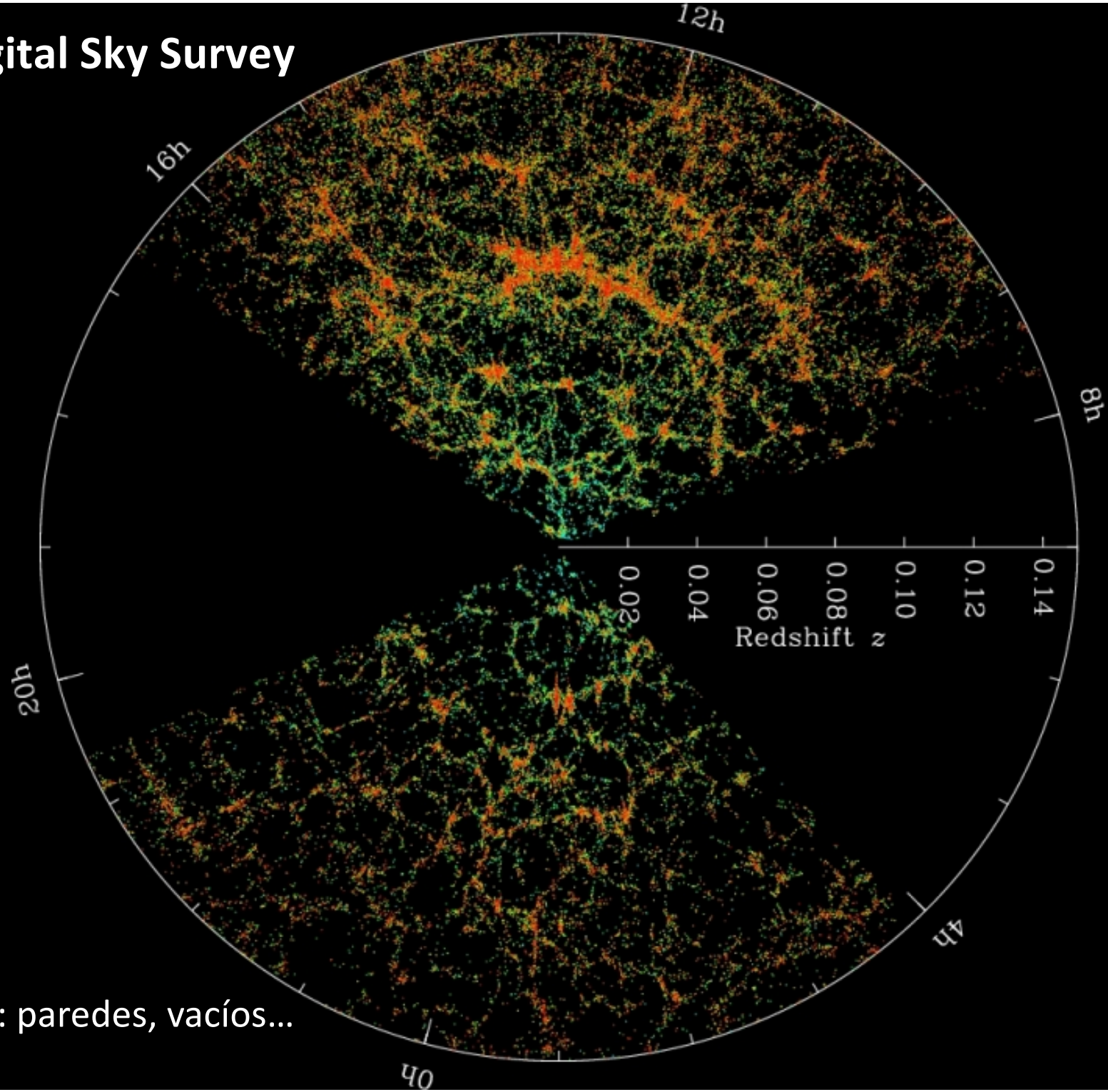
Límite de velocidad en el Universo

Velocidad de la luz: 300.000 km/s

Tamaños: 100.000 años luz

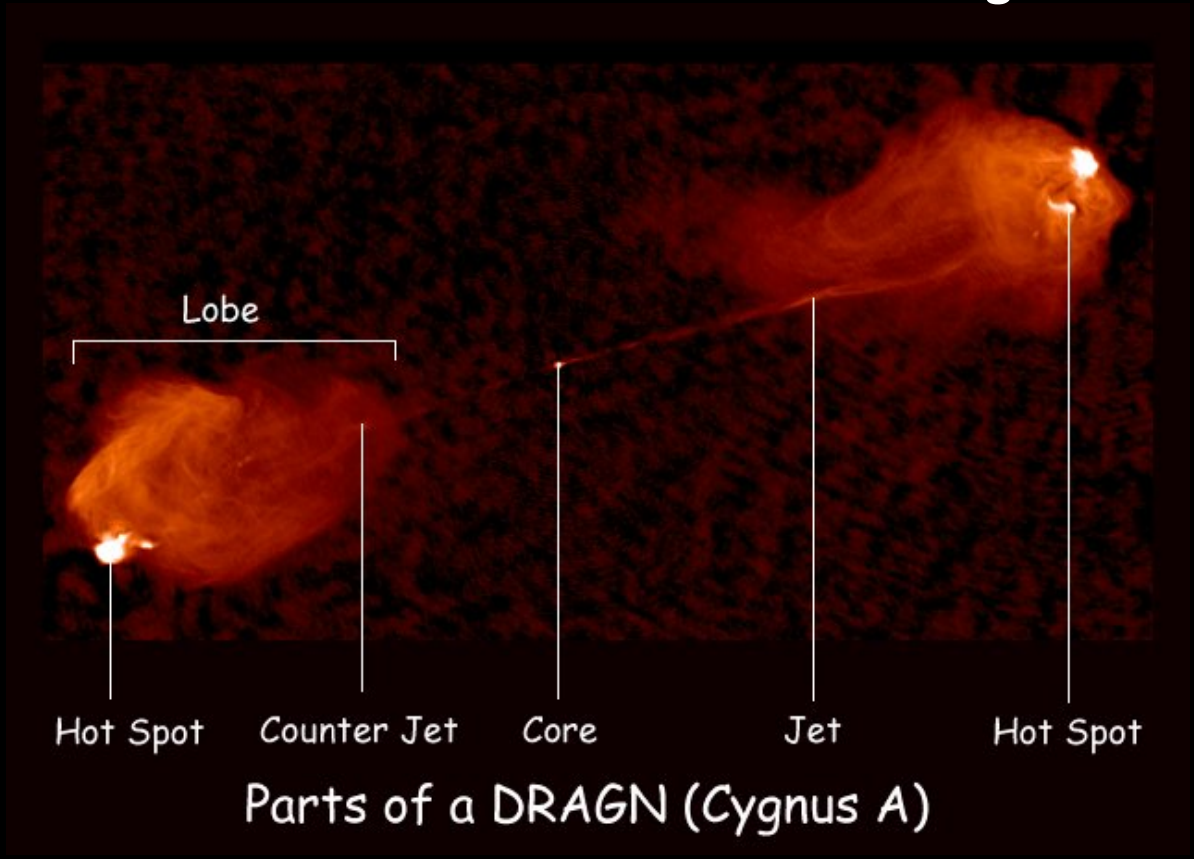
Galaxias a distancias de miles de millones de años luz

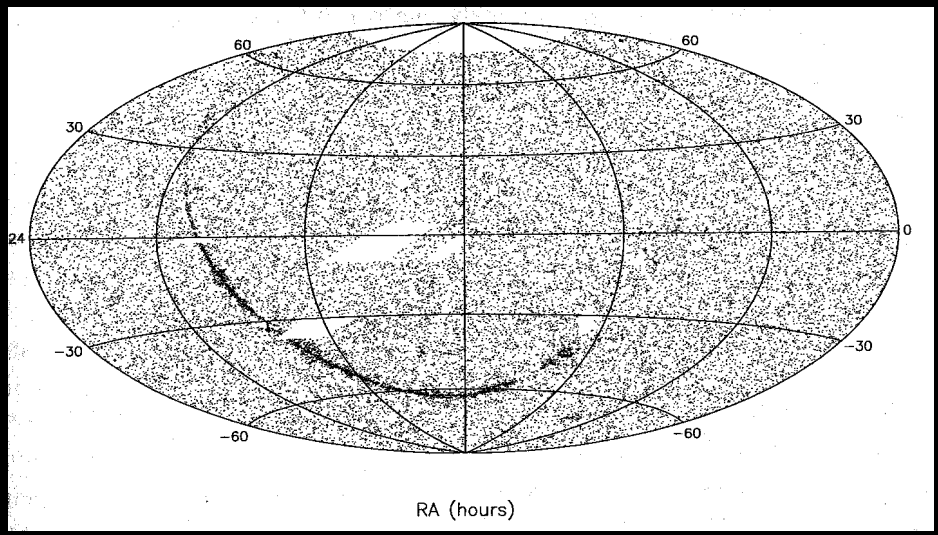
Sloan Digital Sky Survey



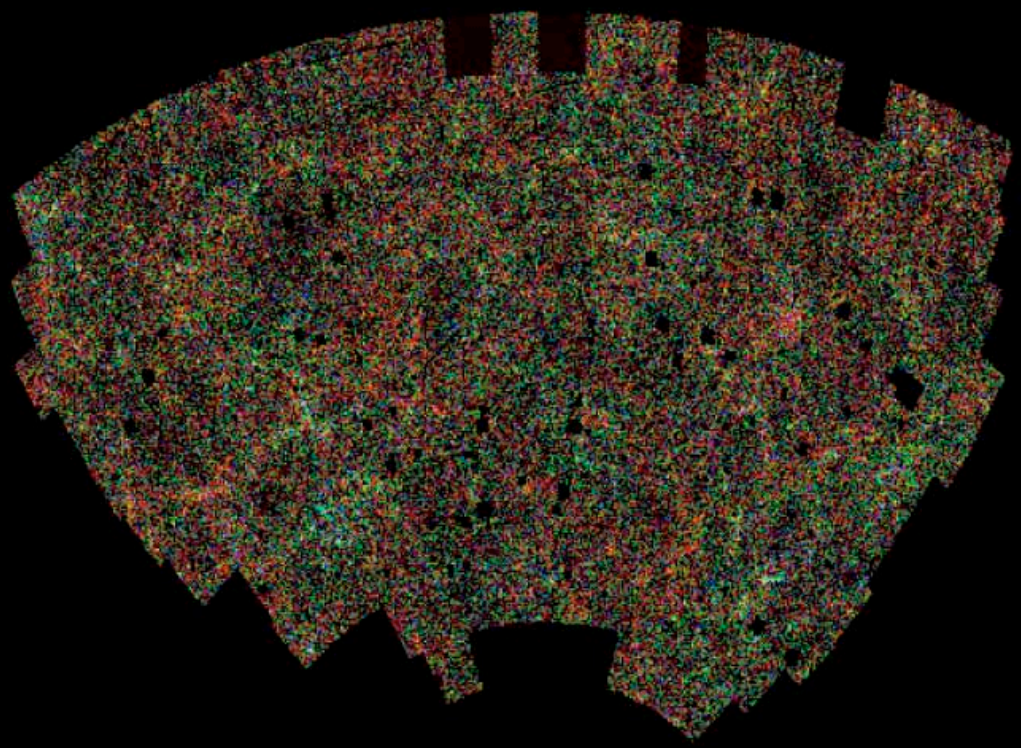
Estructuras: paredes, vacíos…

Radiogalaxias

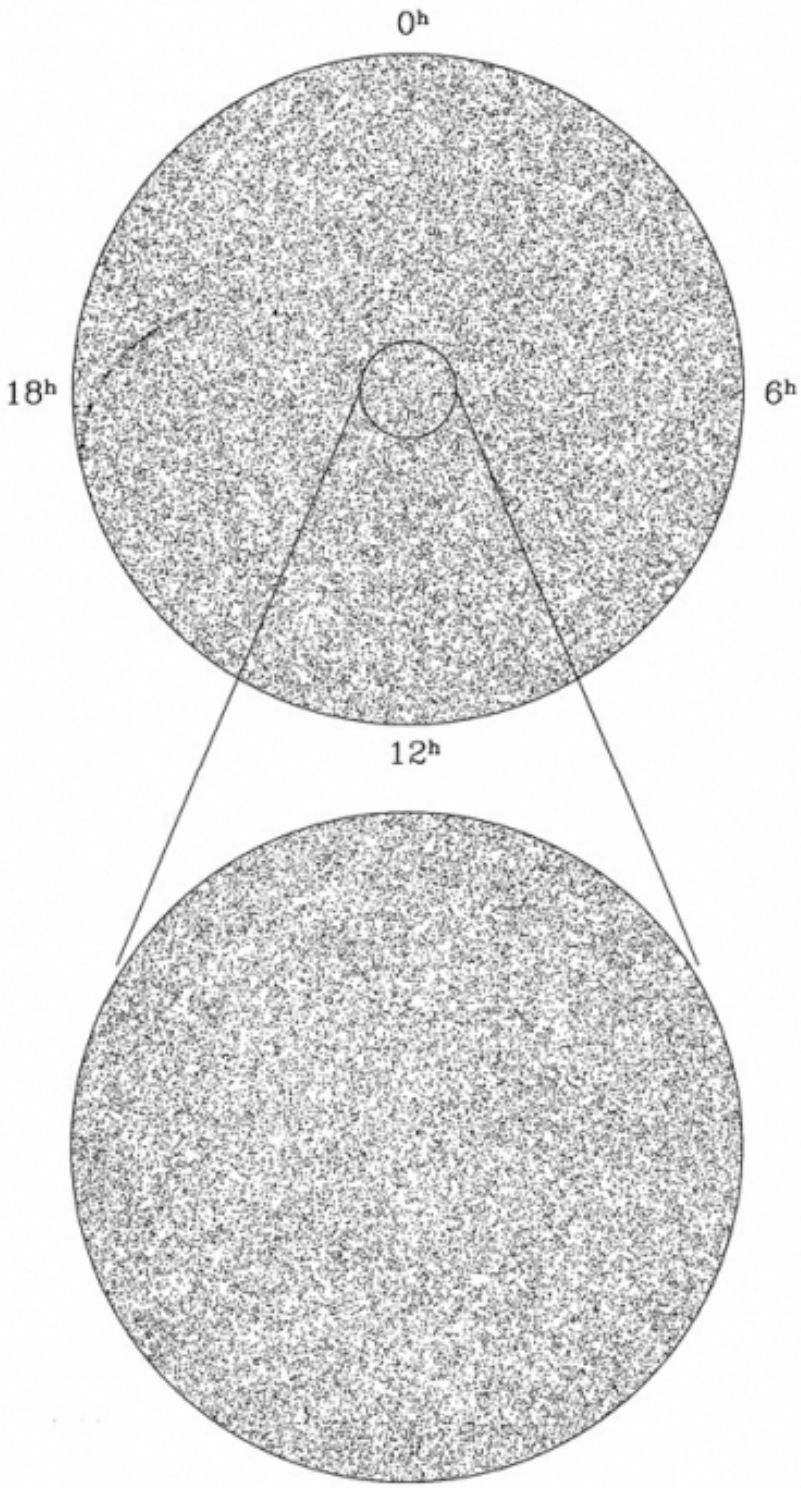




El Universo a gran escala:
homogeneidad e isotropía

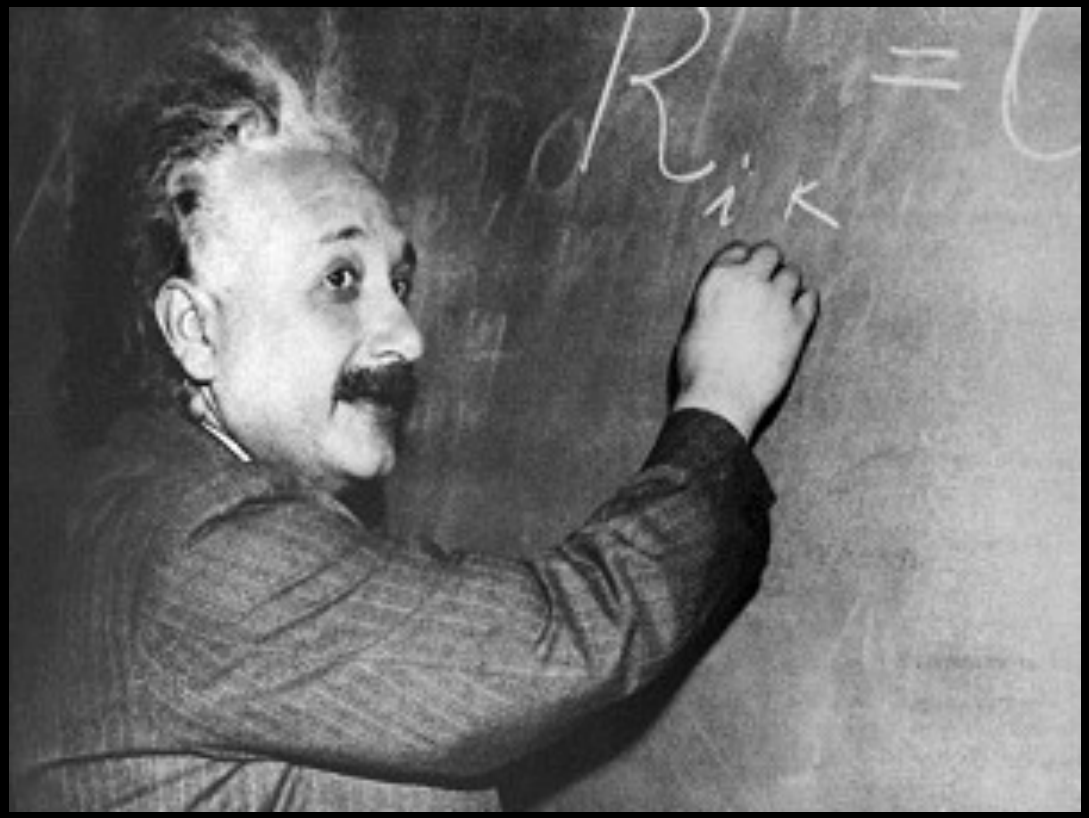


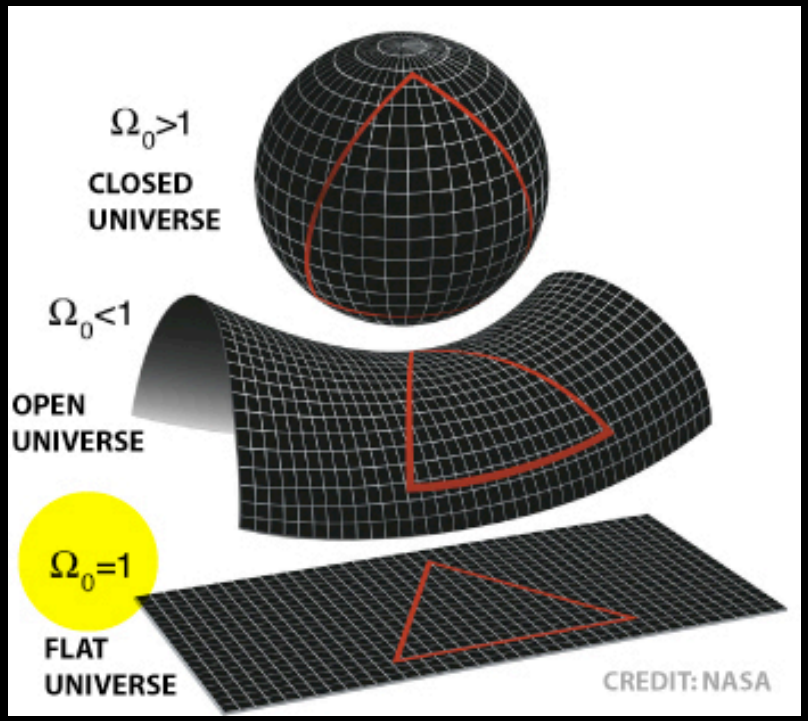
“Principio Cosmológico”



El Universo a gran escala:
Teoría de la Relatividad General

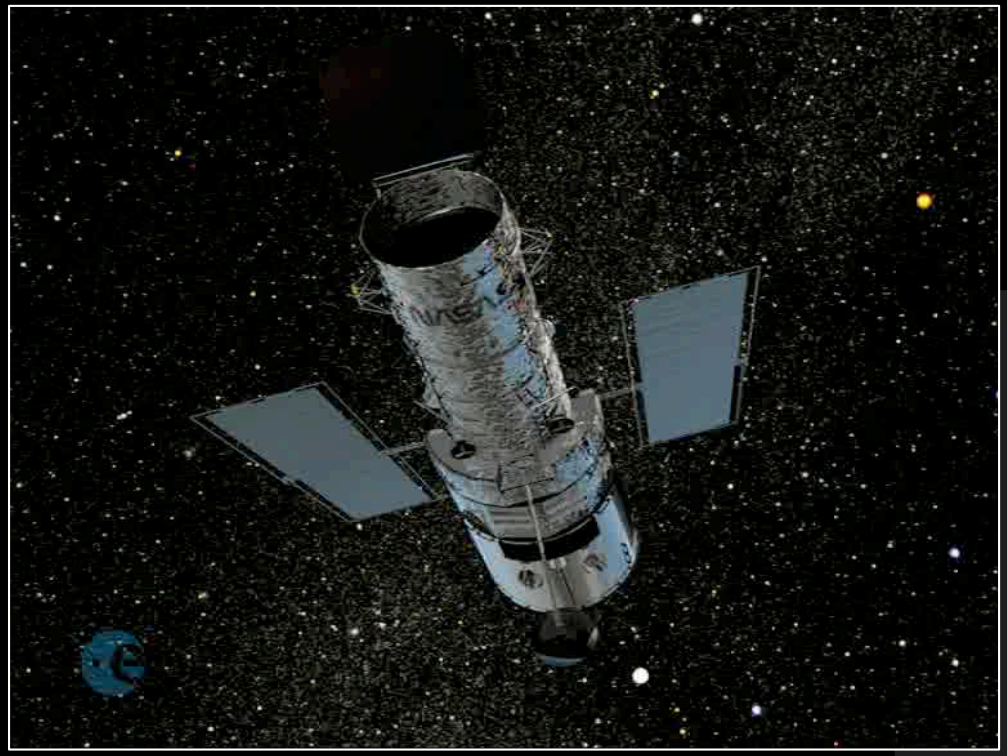
Universo dinámico

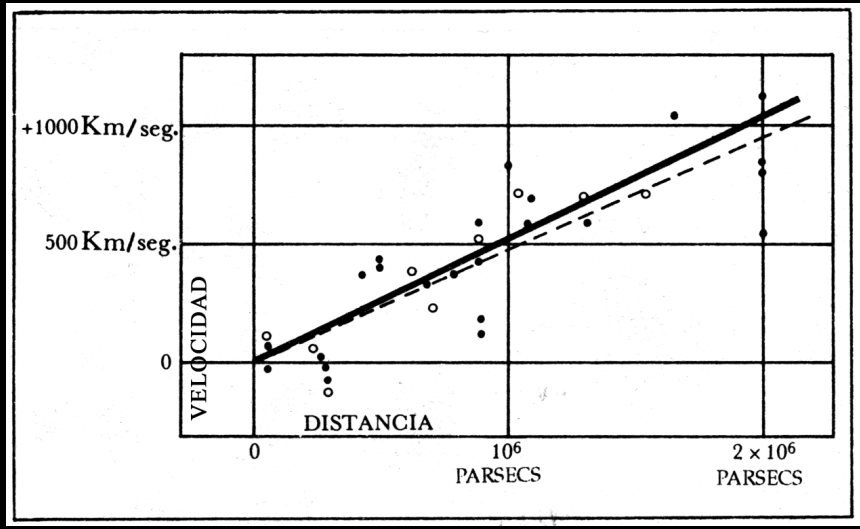


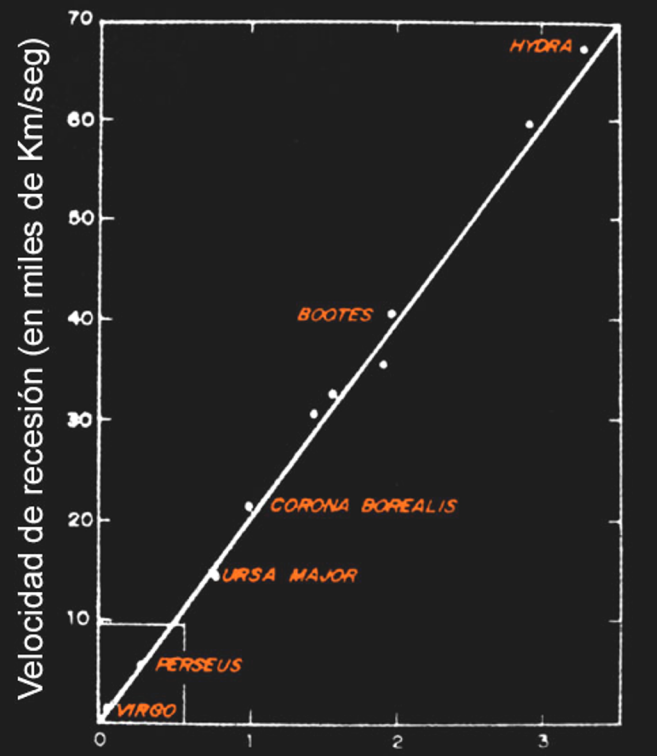


Relatividad General
+
Principio Cosmológico
+
Postulado de Weyl

El Universo está en Expansión

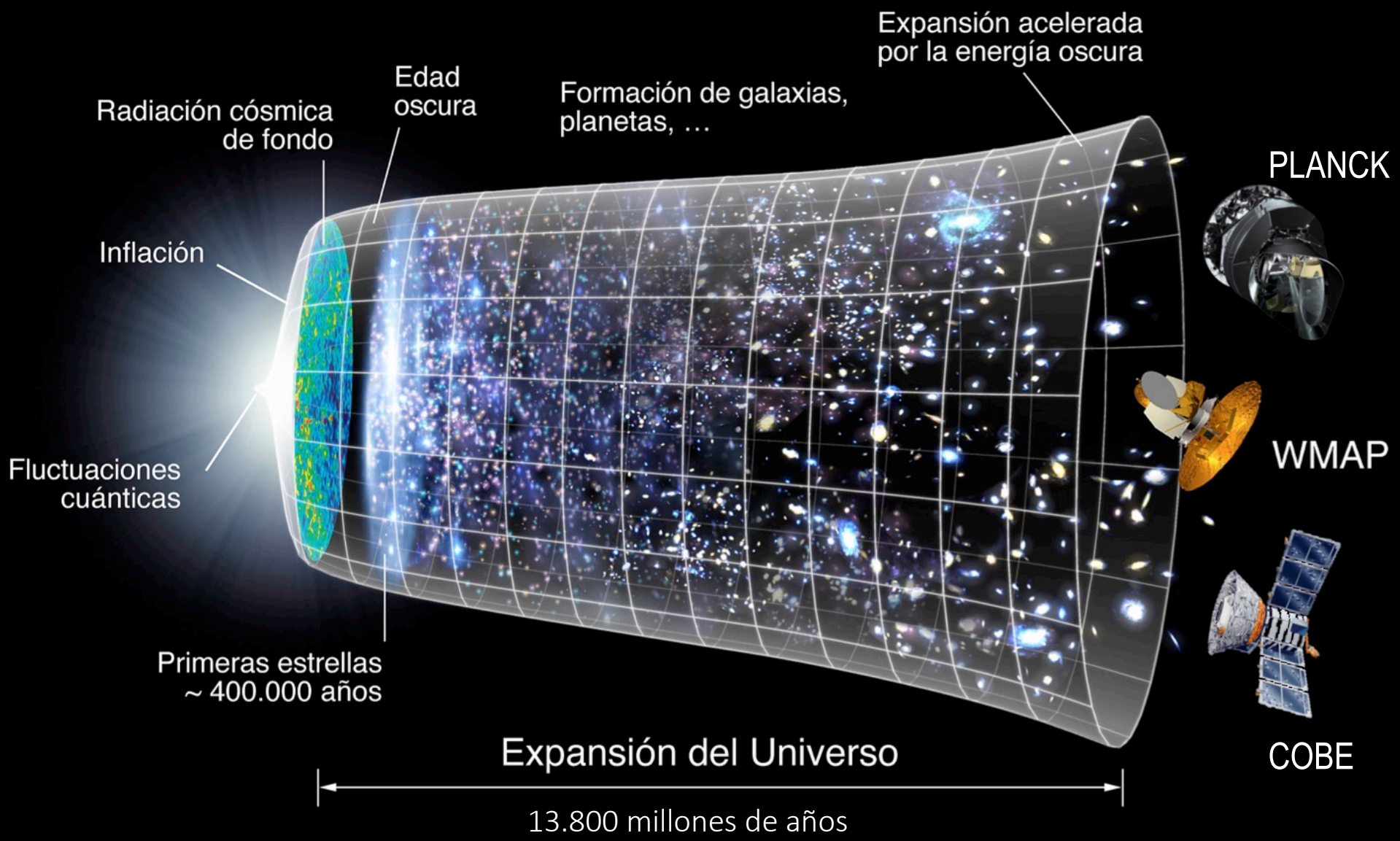






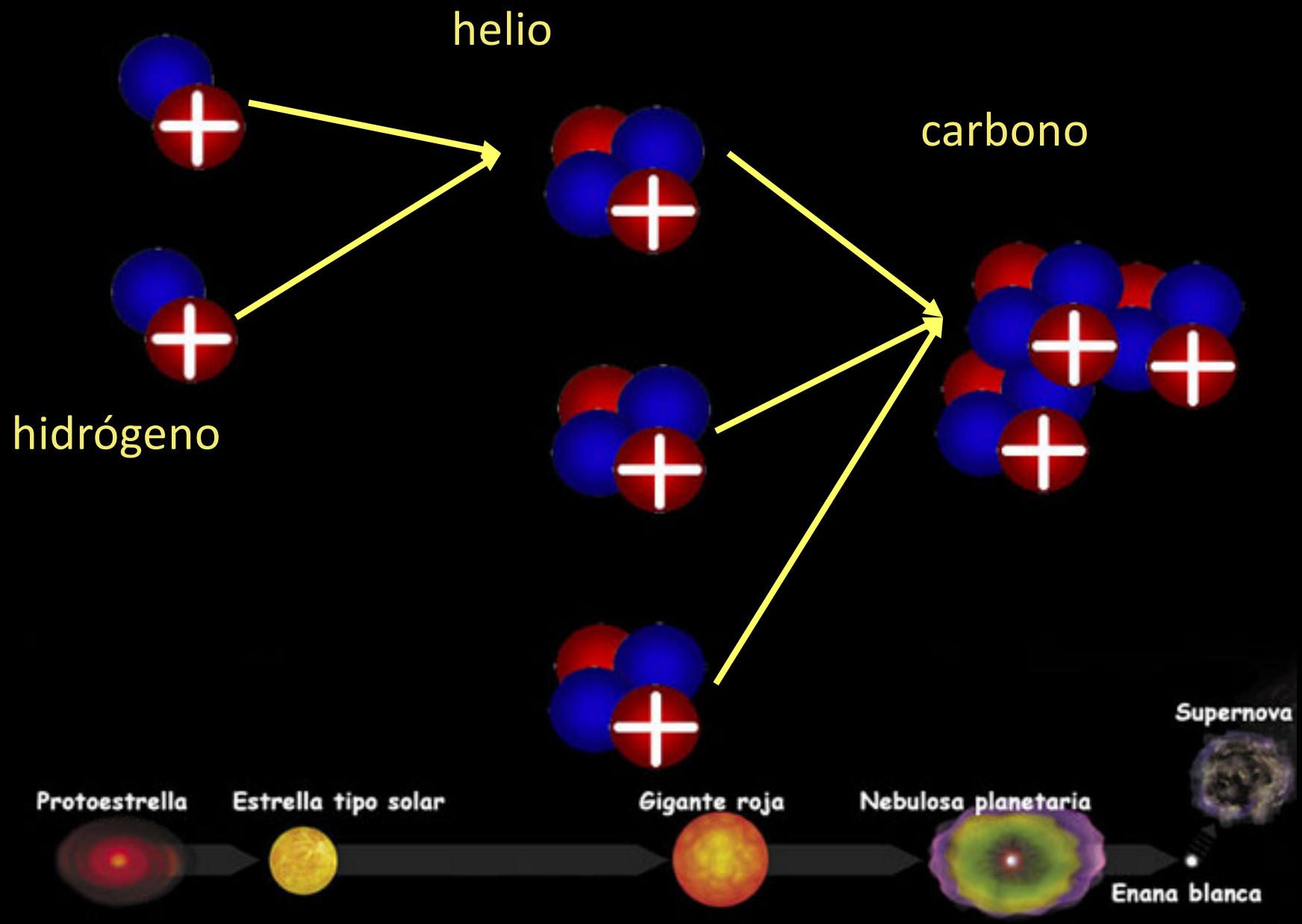
Ley de Hubble-Lemaître

Nuestro modelo cosmológico



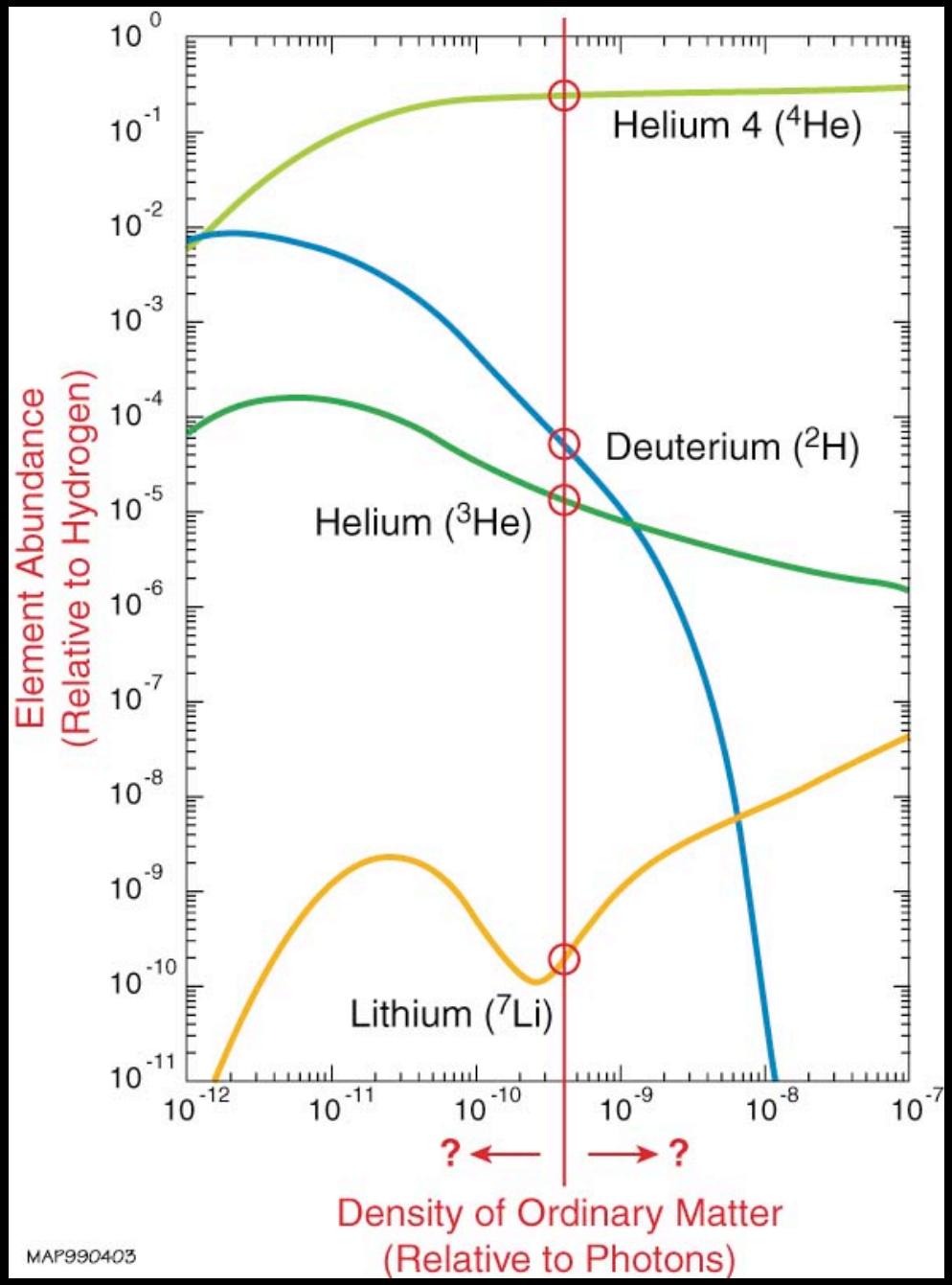
¿ Existen restos “fósiles” del Big Bang?

Elementos químicos y evolución estelar



Abundancias de elementos ligeros. Nucleosíntesis en el Big Bang

Modelo de Big Bang propuesto por Gamow (1946) para explicar la generación de elementos ligeros en el Universo.

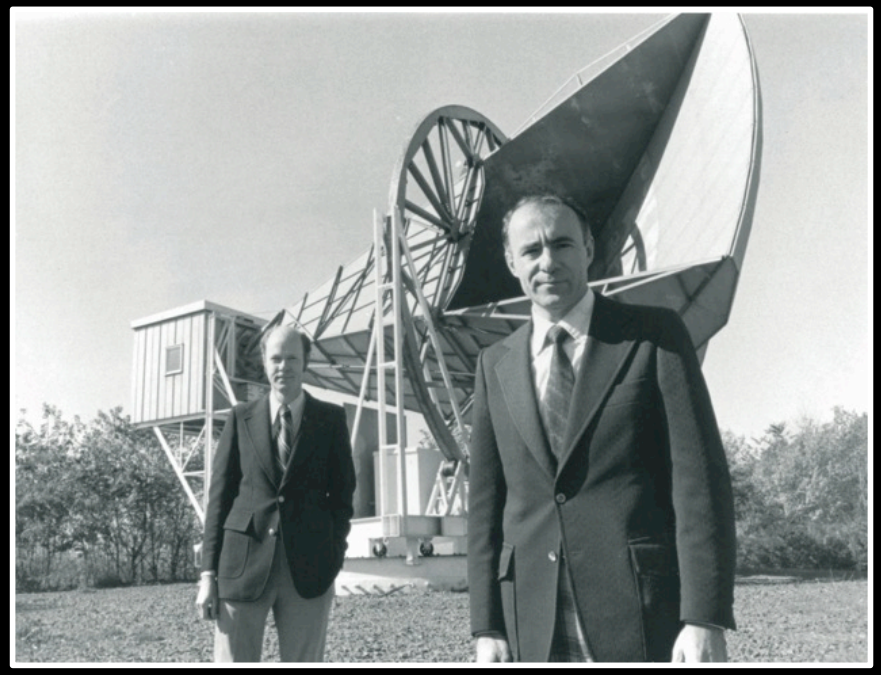


- Hoy día, las abundancias de elementos ligeros se usan como herramienta para determinar la densidad de materia ordinaria (bariónica) en el Universo.
- Consistente con 4% de materia ordinaria.
- Además, hay 10^{10} fotones por cada barión.

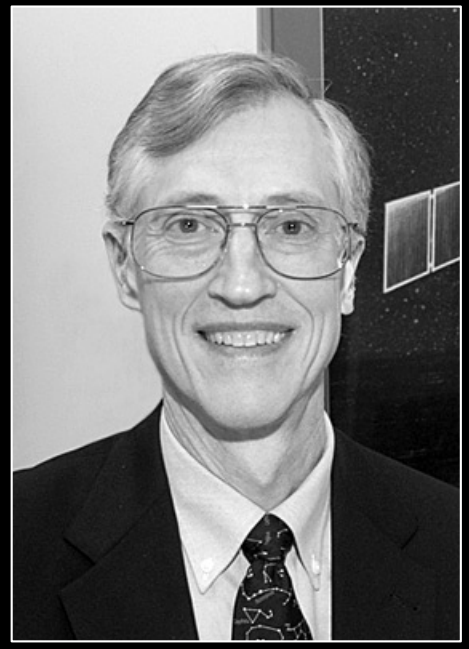
El Fondo Cósmico de Microondas

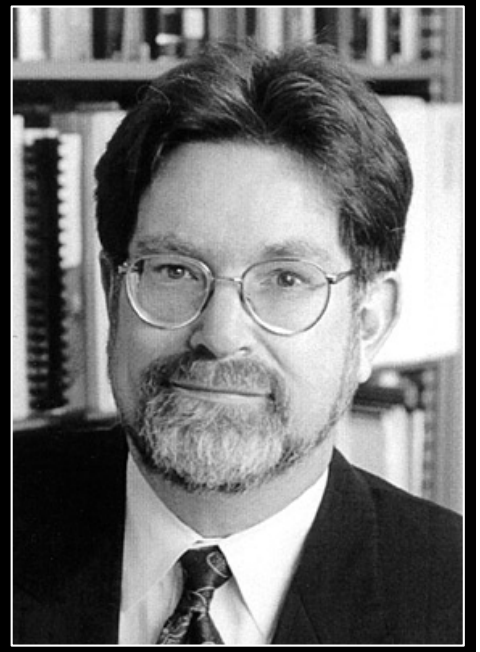
Radiación fósil que se generó cuando el Universo tenía 380.000 años.

- Predicha por Gamow, Alpher y Herman (1946). Doroshkevich & Novikov (1964)
- Descubierta por Penzias & Wilson (1964).
- Propiedades:
  - Espectro Planckiano ("cuerpo negro")
  - Muy isótropa.



Nobel de Física en 1978.
Por su descubrimiento.





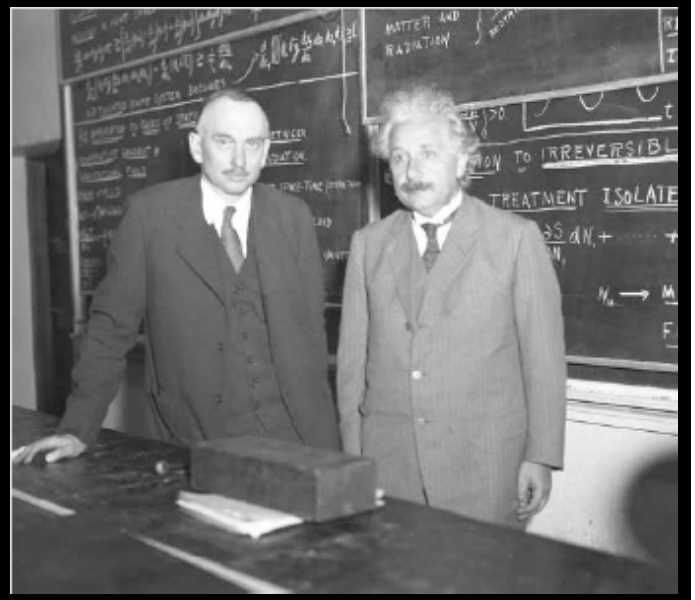
Nobel de Física en 2006. Por la medida del espectro y el nivel de anisotropía.

El Fondo Cósmico de Microondas

Radiación fósil que se generó cuando el Universo tenía 380.000 años.

- Antes de ese momento, el Universo estaba en forma de plasma.
- En ese momento (recombinación) el Universo se vuelve globalmente neutro y transparente a la luz. Es la **fotosfera** de nuestro universo.
- La temperatura entonces era de unos 3000K.
- Con la expansión, esa radiación se enfría. La temperatura del Fondo de Microondas indica la época del Universo. Es una forma **de sincronizar relojes en el cosmos**.
- Hoy la observamos a unos 3K, en las microondas.

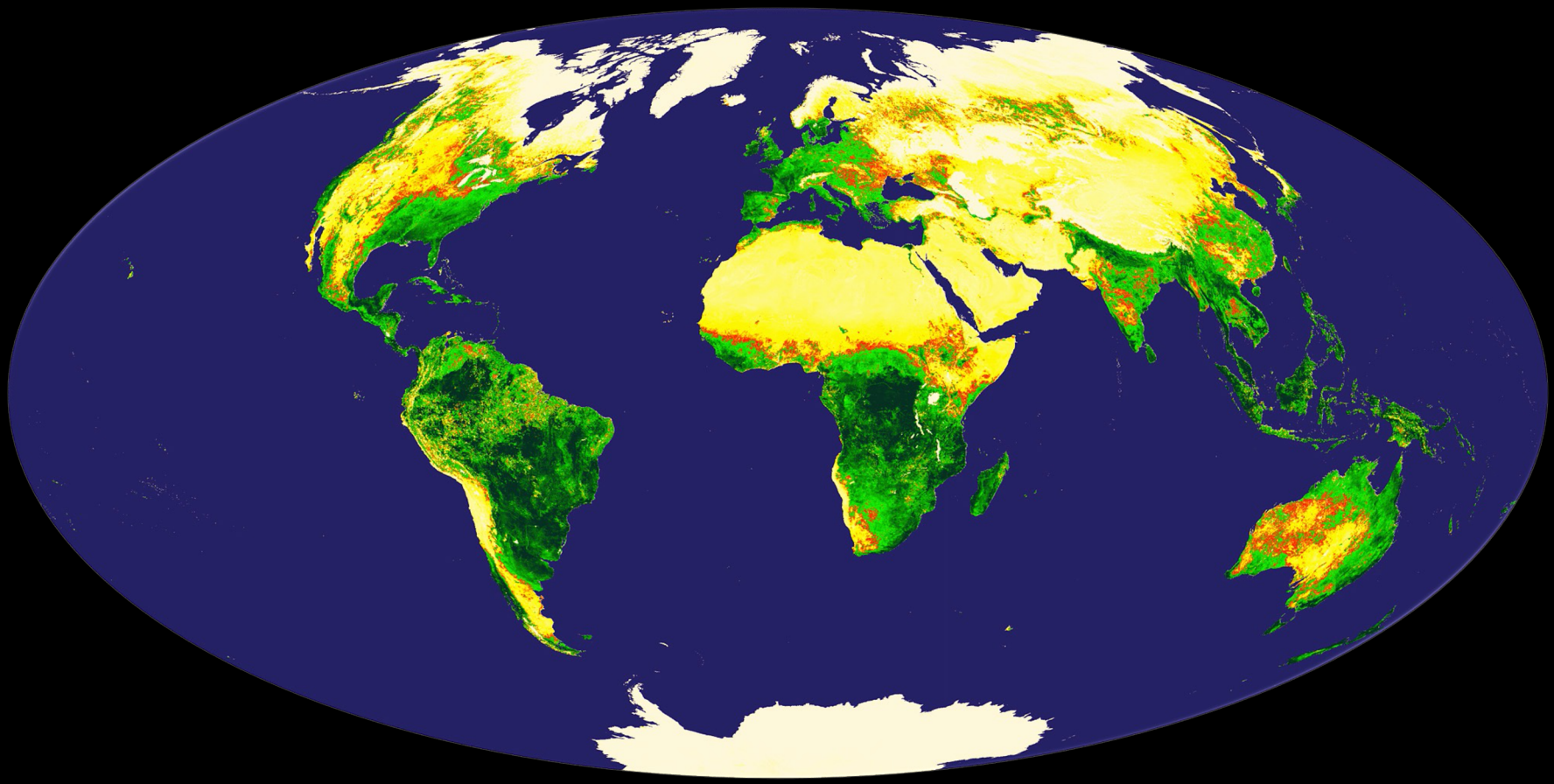
$$T = T_0 \frac{R_0}{R} = T_0(1+z)$$



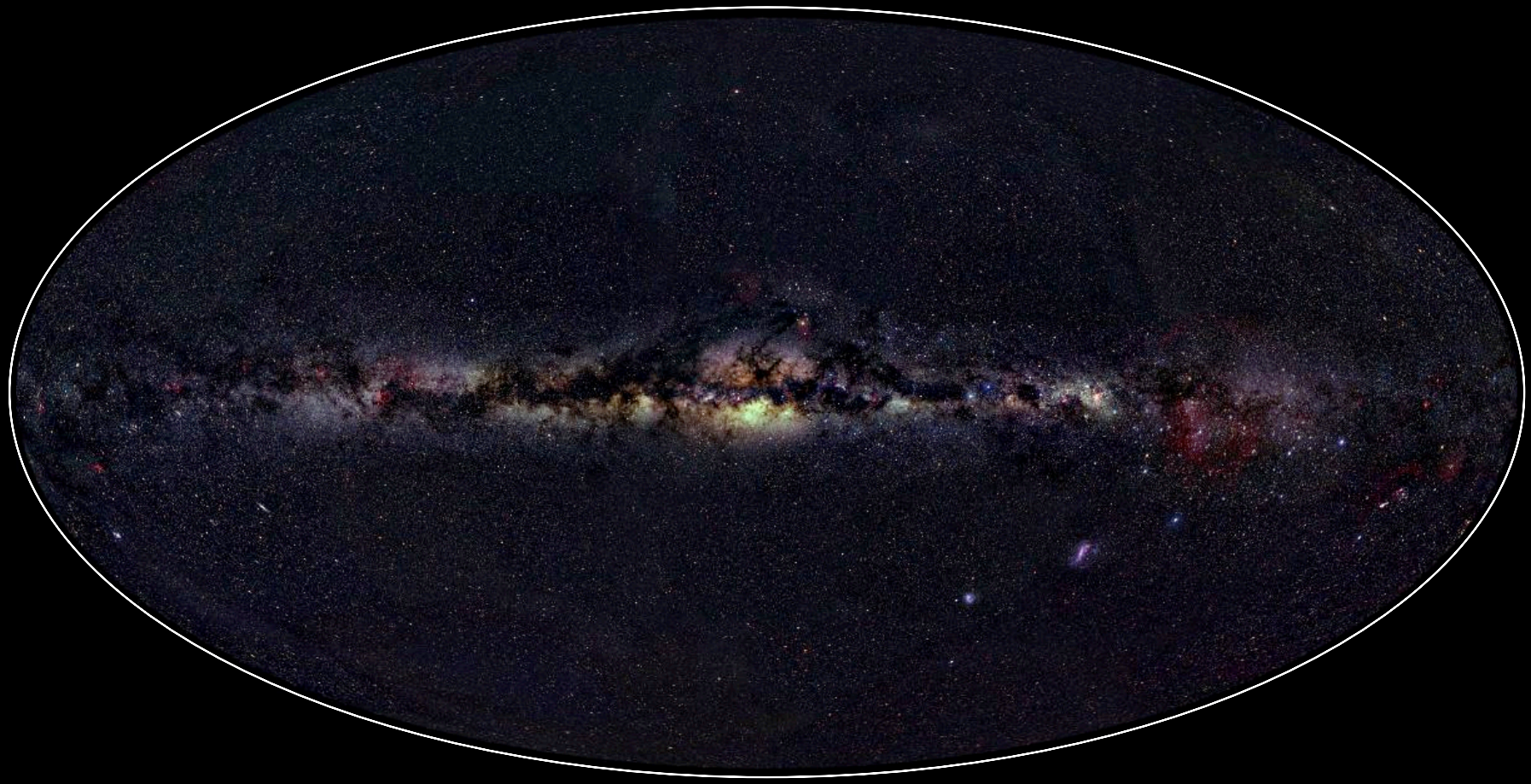
Radio | Microondas | Infrarrojo | Visible | Ultravioleta | Rayos X | Rayos γ

Un detector del Fondo Cósmico de Microondas

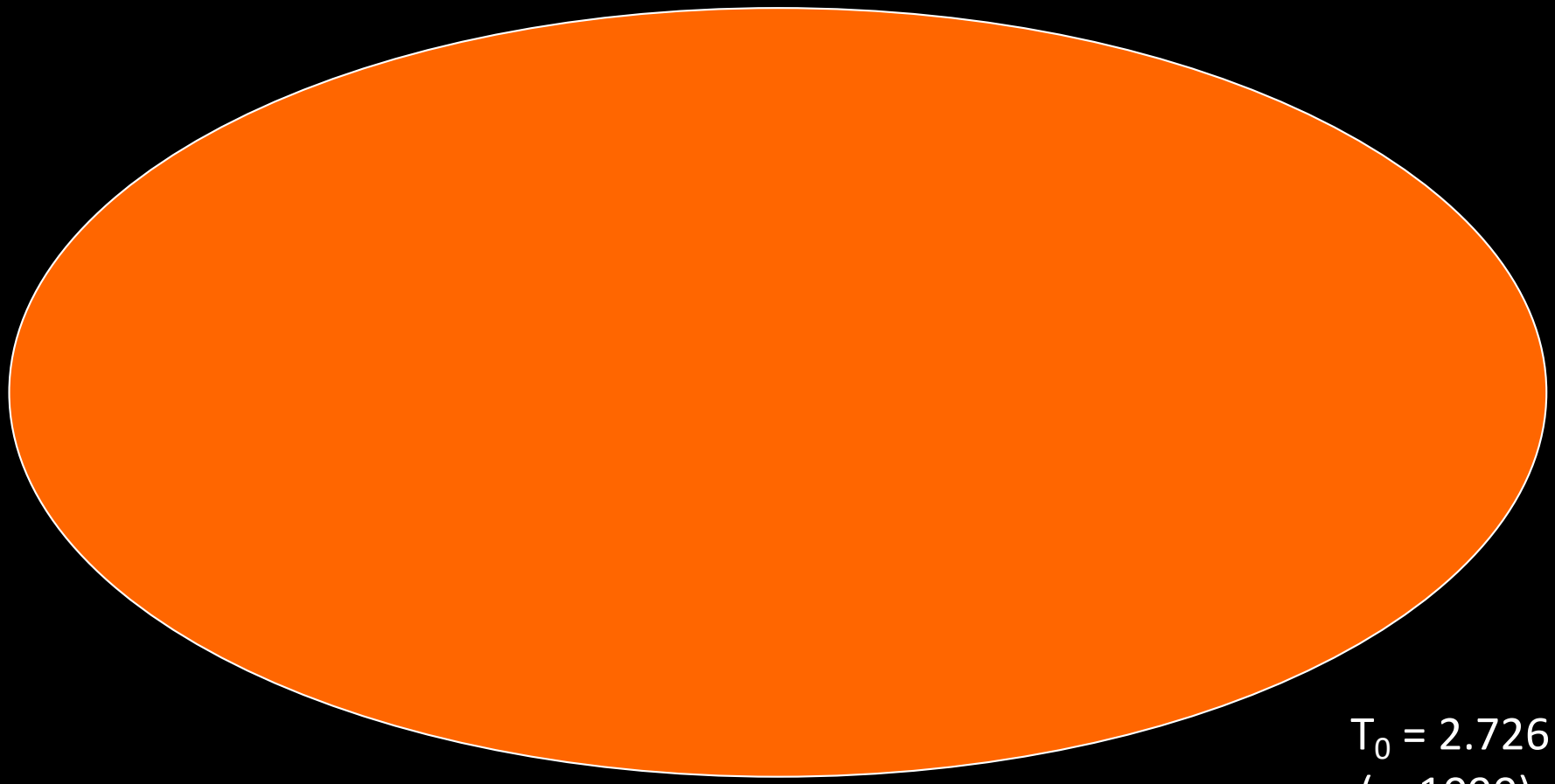
Planisferio Terrestre



El Cielo visto con Telescopios Ópticos



El Fondo Cósmico de Microondas

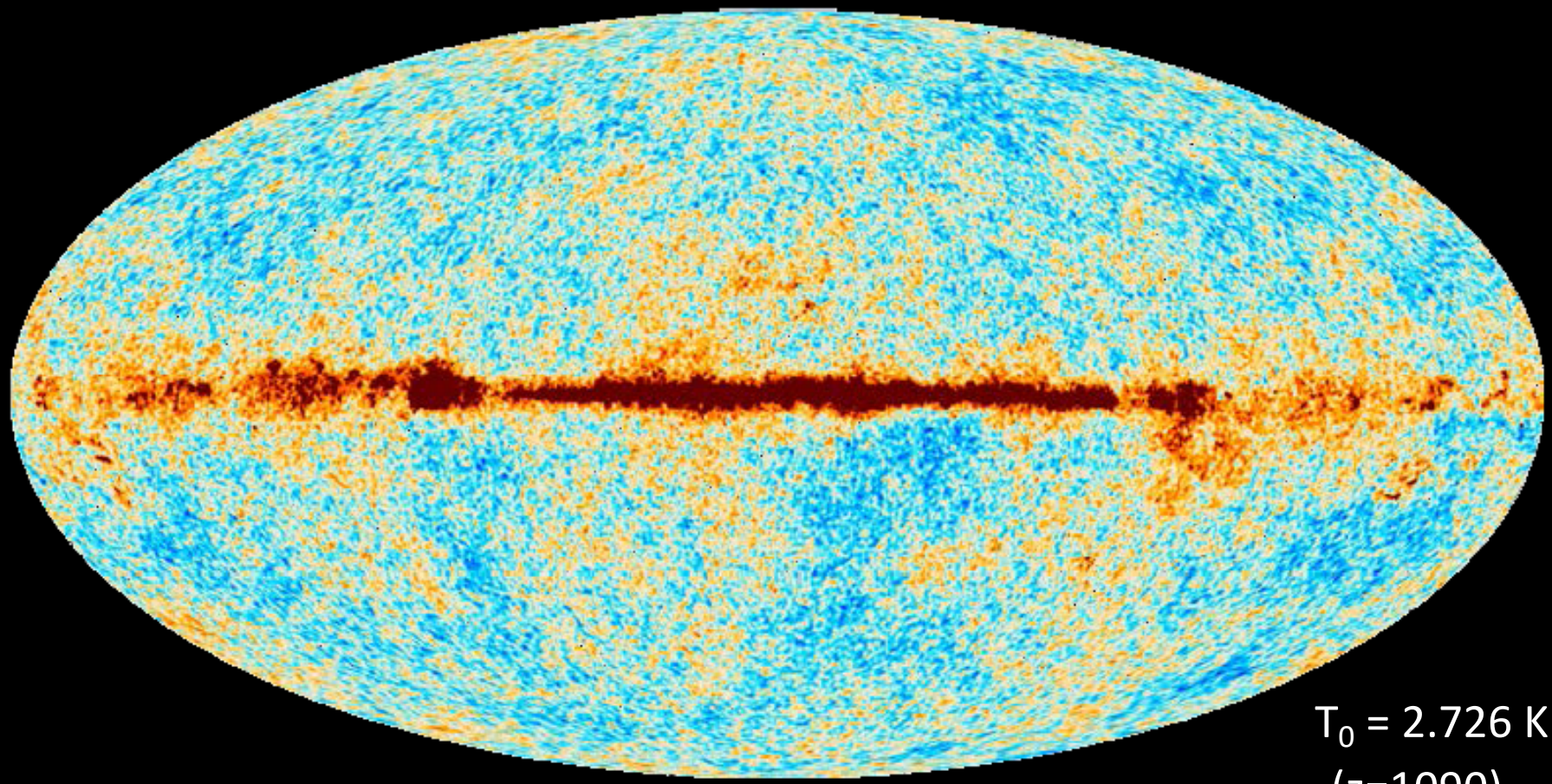


T_0 = 2.726 K
(z=1090)

(13.800 millones años)

Pero la Radiación del Big Bang no puede ser perfectamente uniforme…

El Fondo Cósmico de Microondas

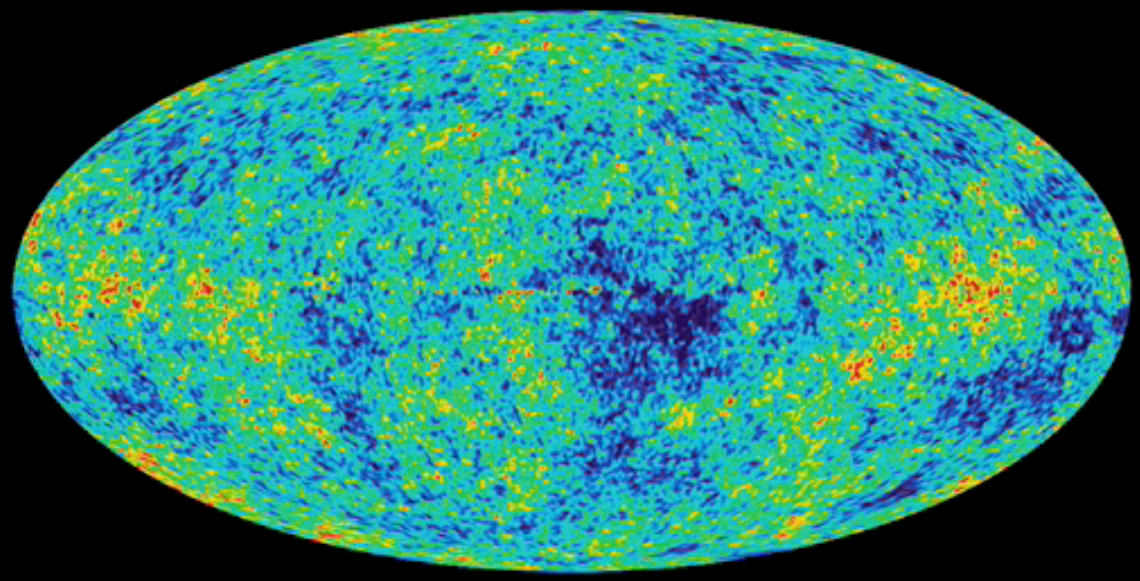


T_0 = 2.726 K
(z=1090)
(13.800 millones años)

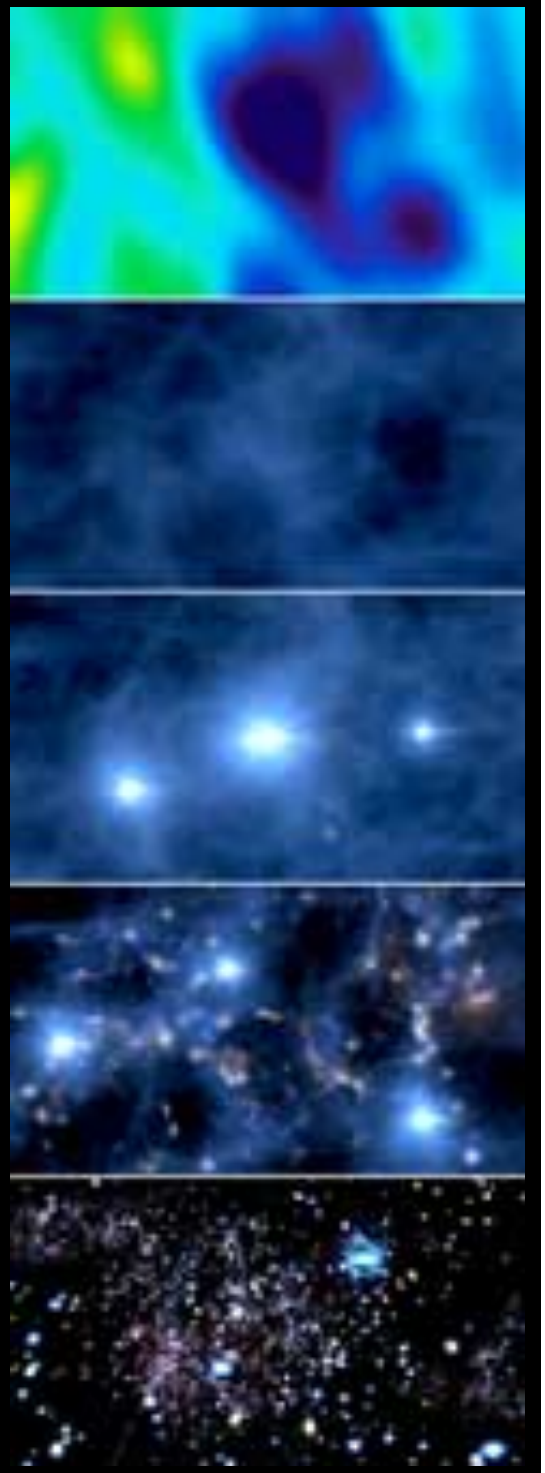
Pero la Radiación del Big Bang no puede ser perfectamente uniforme…

¿Porqué esperamos ver anisotropías en el Fondo Cósmico de Microondas?

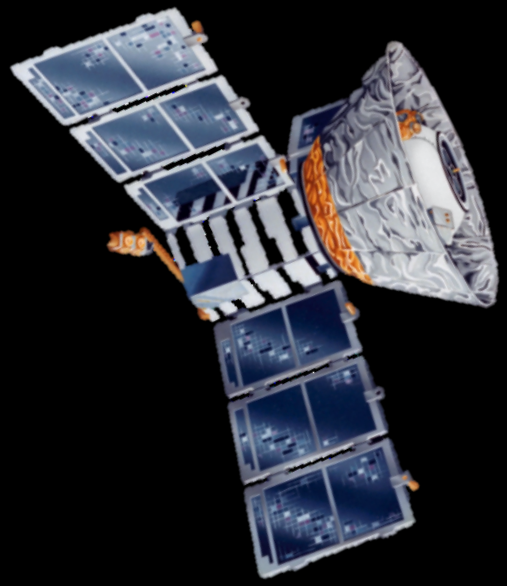
❖ Todas las estructuras en el Universo actual (galaxias, cúmulos de galaxias, etc) crecen por efecto de la atracción gravitatoria a partir de las semillas originales que observamos en el fondo cósmico de microondas: las ***anisotropías***.

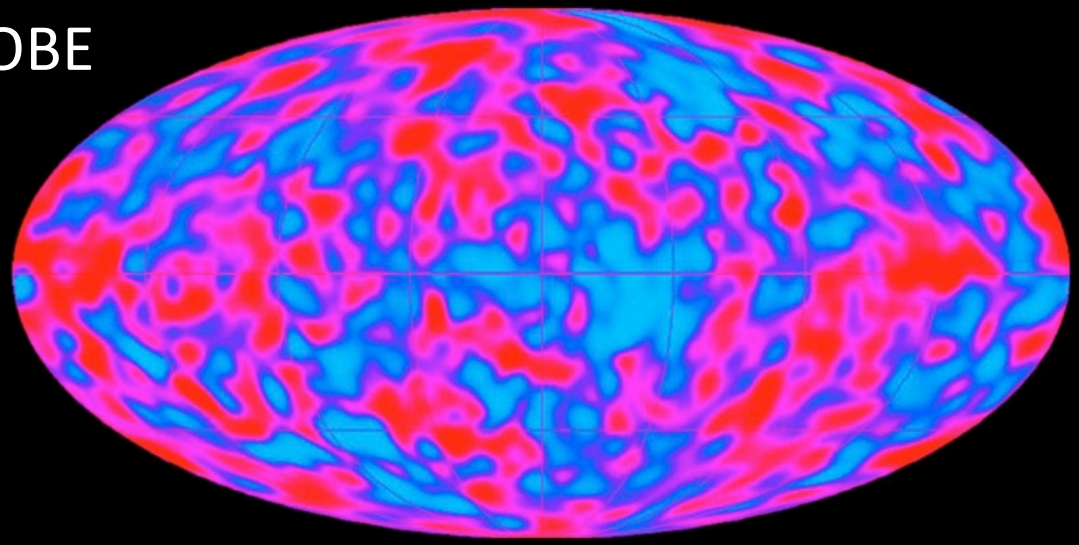


Credit: NASA

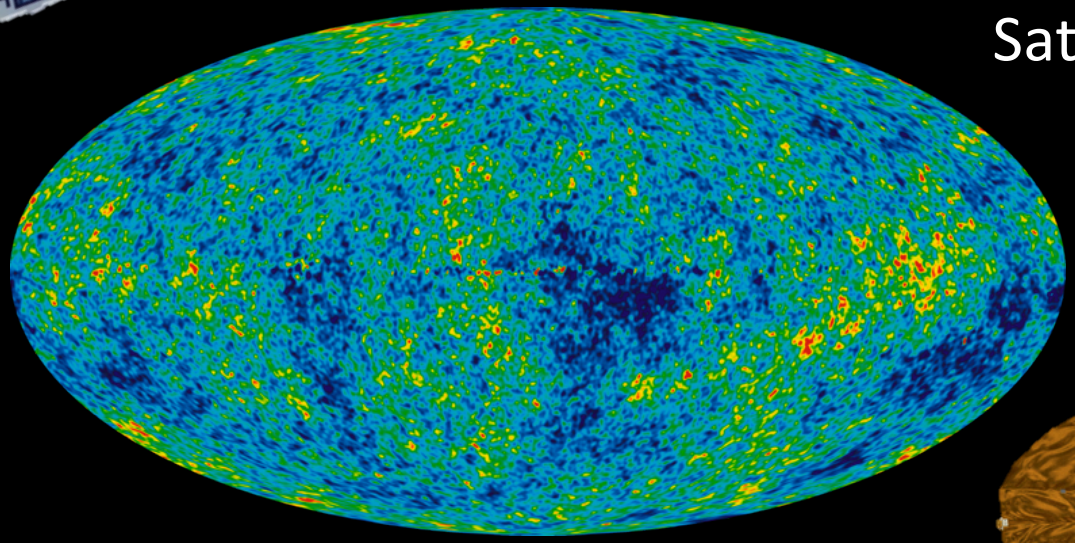


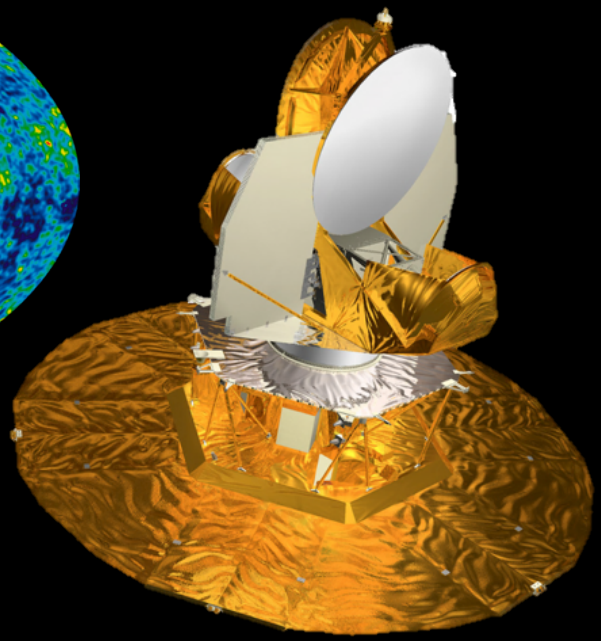
Satélite COBE





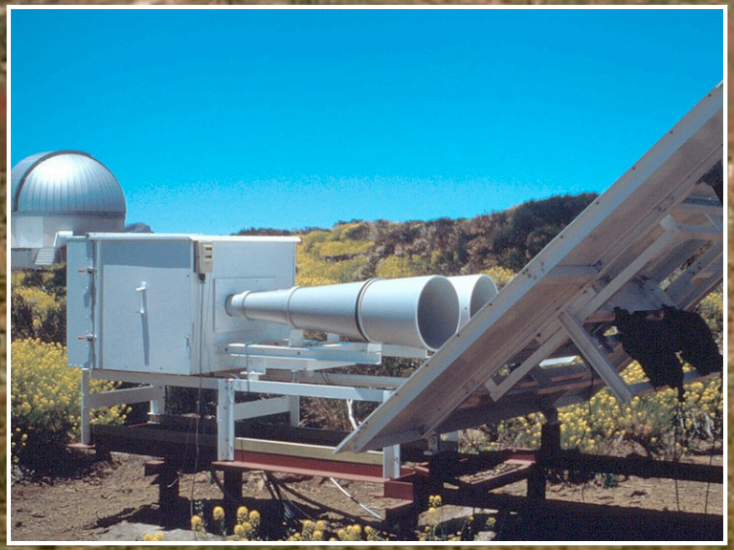
Satélite WMAP





COSMOSOMAS

Frecuencias: 11, 13, 15 y 17 GHz



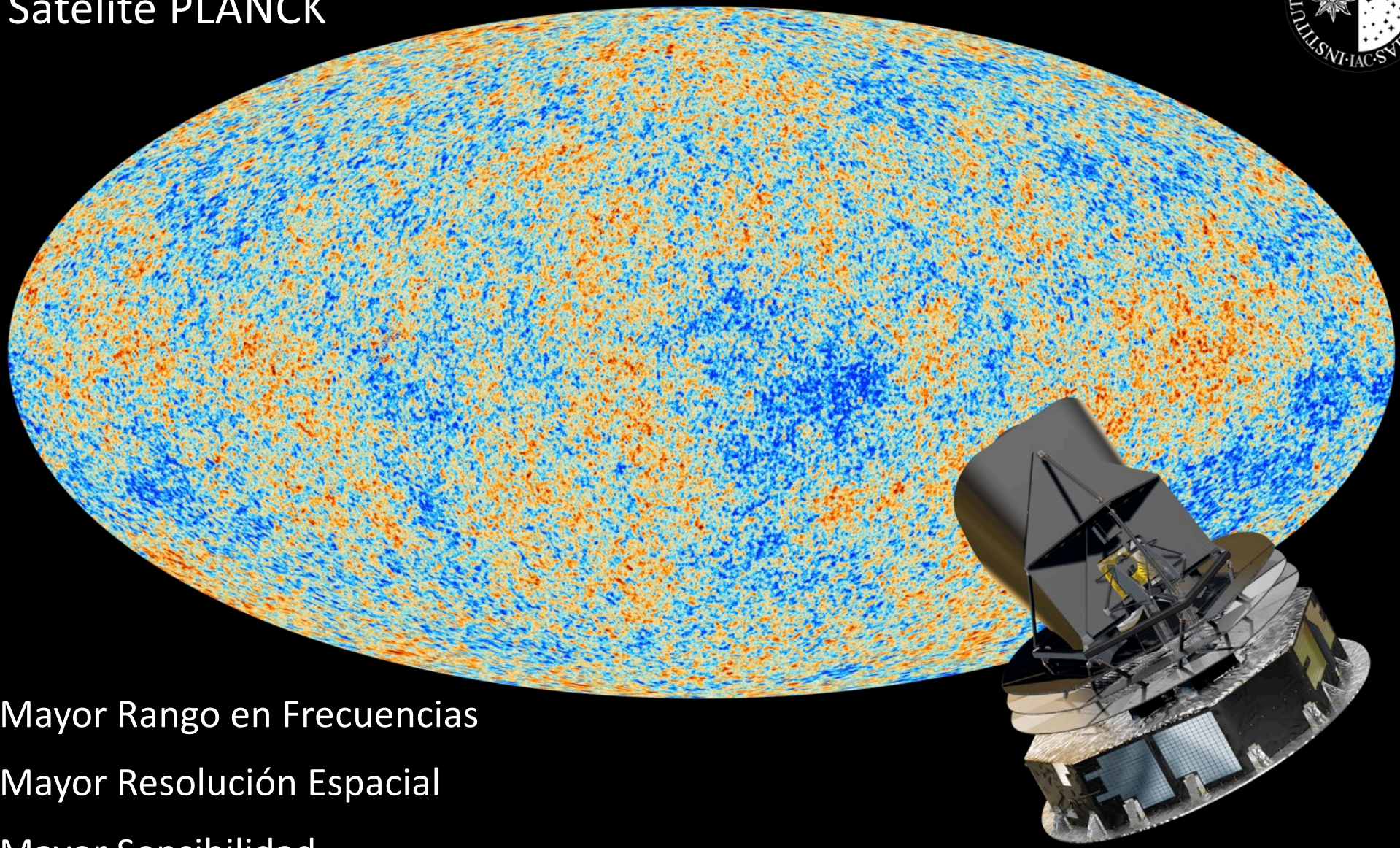
Experimento Tenerife

Frecuencias: 10, 15 y 33 GHz

The Very Small Array

Frecuencias: 30 GHz

Satélite PLANCK



Mayor Rango en Frecuencias

Mayor Resolución Espacial

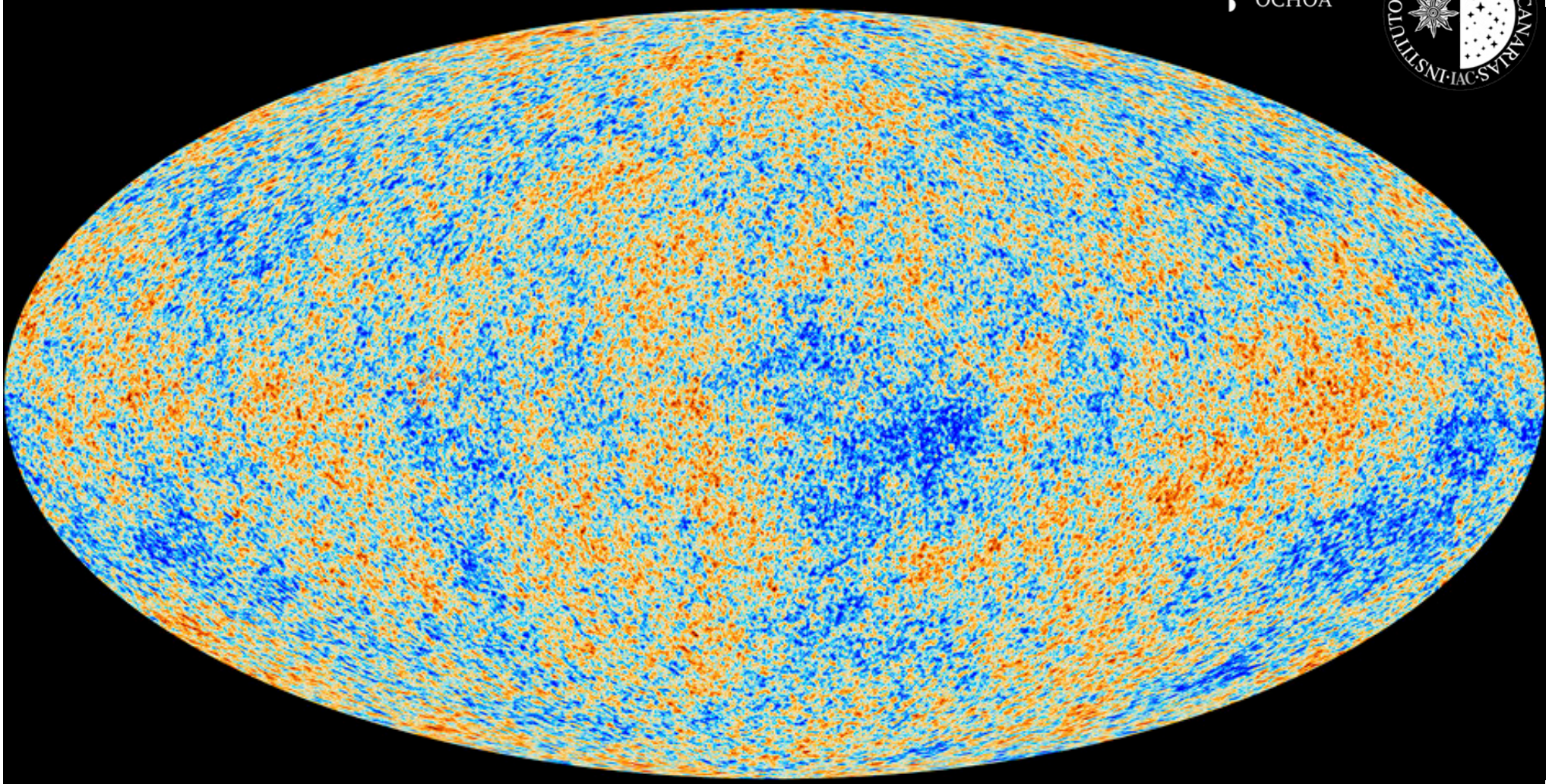
Mayor Sensibilidad

Posibilidad de estudiar nuevos fenómenos en los primeros instantes del Universo

EL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS visto por PLANCK

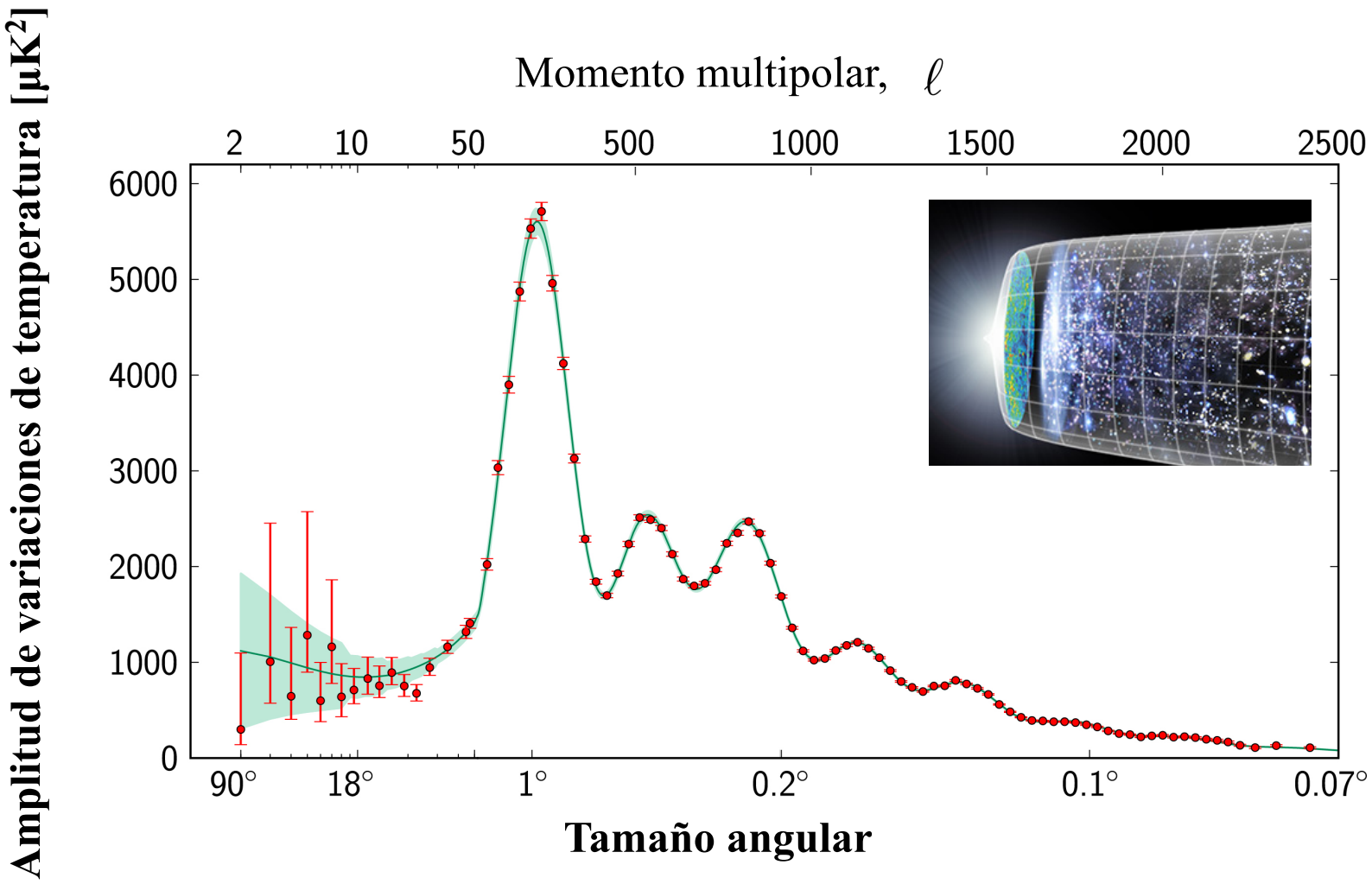
EXCELENCIA SEVERO OCHOA

INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS · IAC



El Universo con 380.000 años de edad

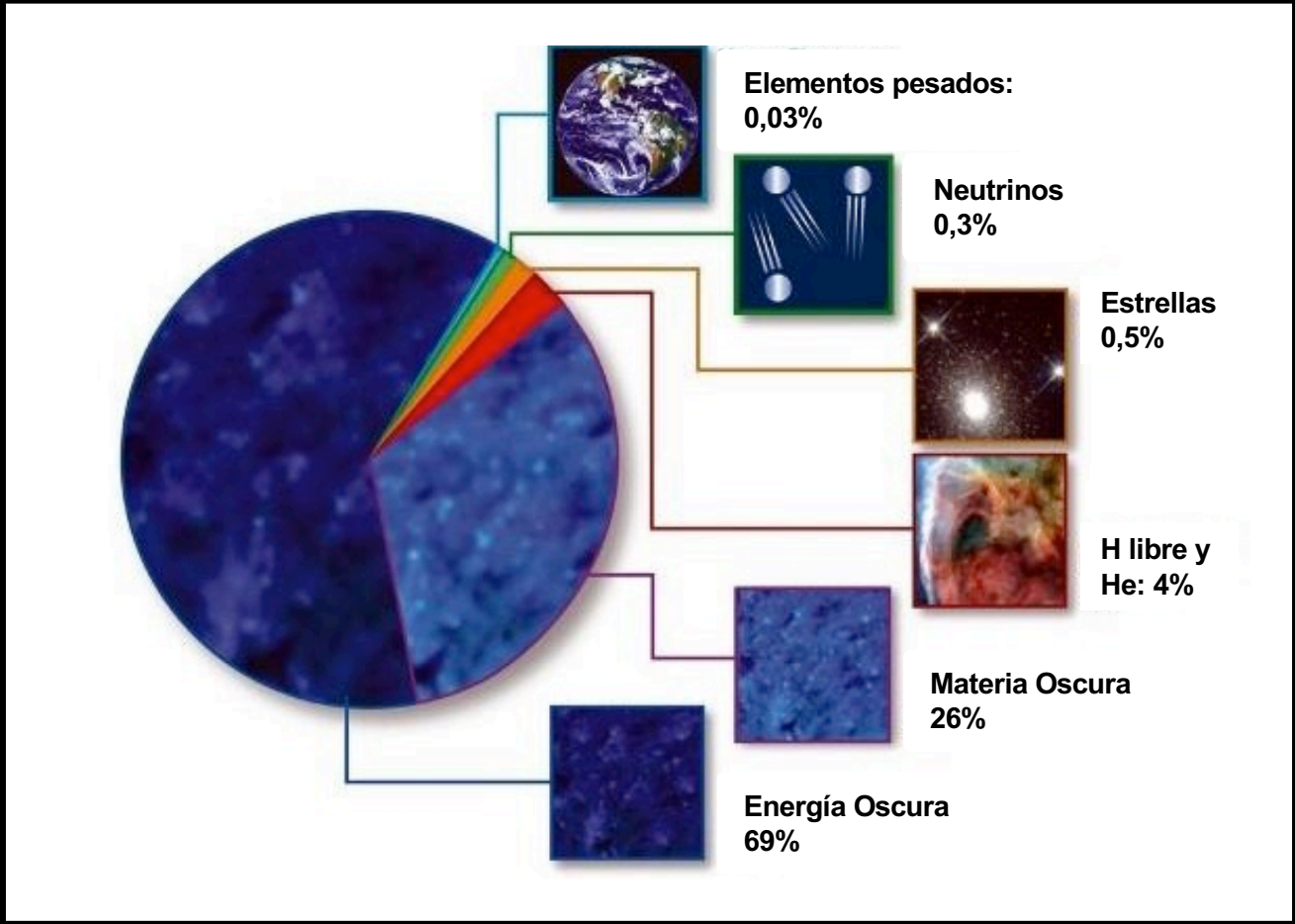
EL FONDO CÓSMICO DE MICROONDAS visto por PLANCK



Ondas de sonido en el Universo primitivo

Predichas en 1965 por A. Sakharov

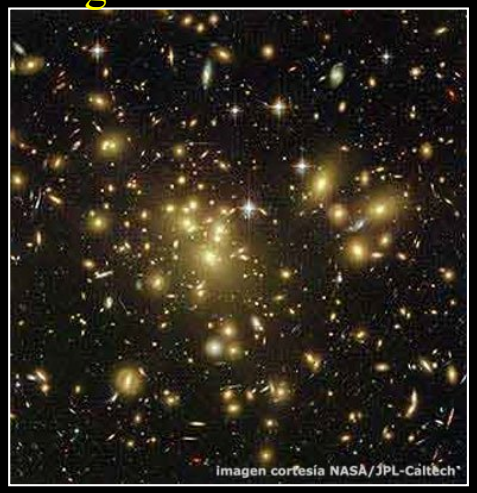
¿Qué hay en el Universo hoy día?



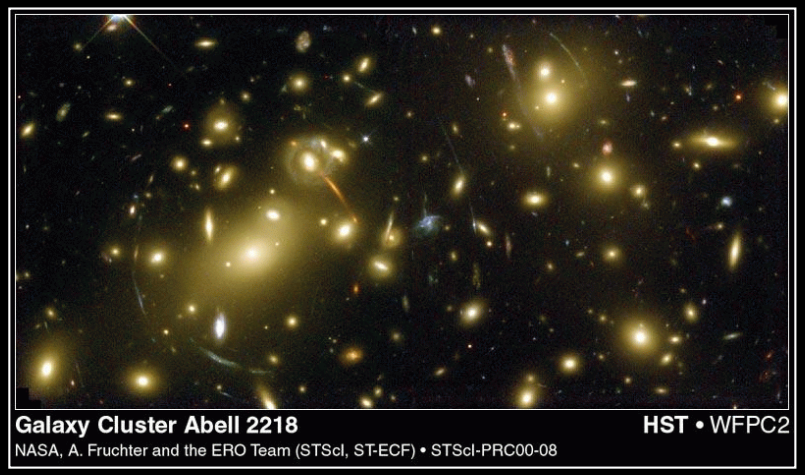
(esta distribución de contenido cambia con el tiempo)

Evidencias observacionales de Materia Oscura

Dinámica en cúmulos de galaxias

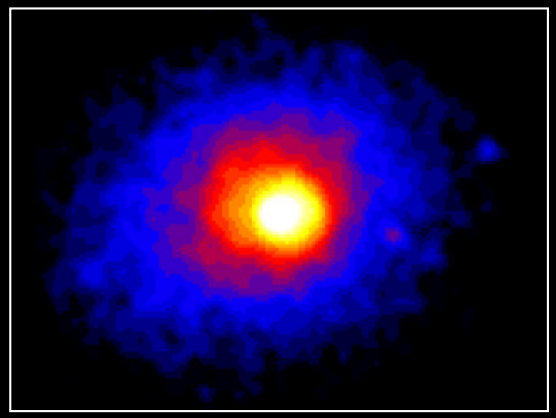


Efecto lente gravitatoria en cúmulos

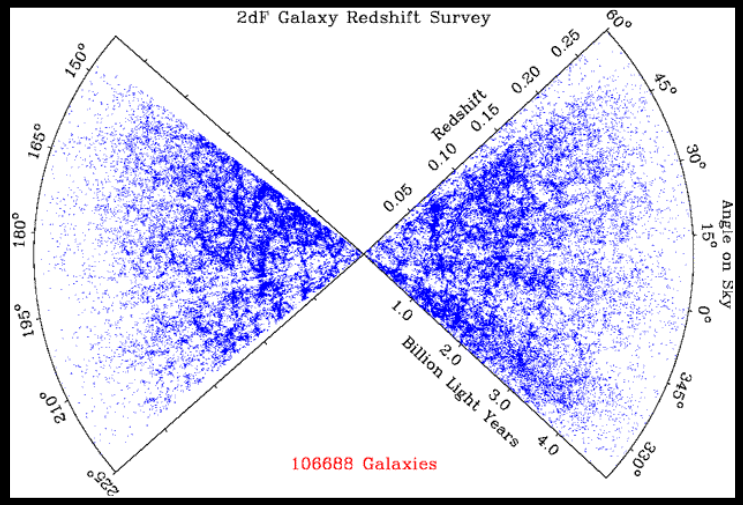


Curva de rotación de galaxias

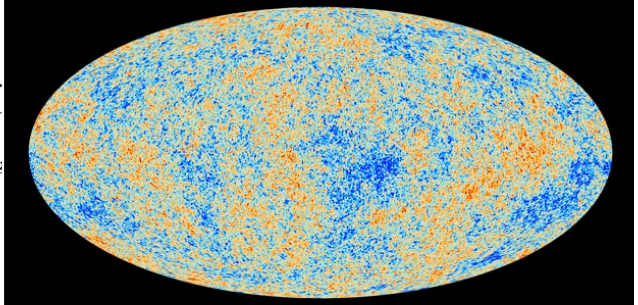
Emisión rayos-X en cúmulos de galaxias



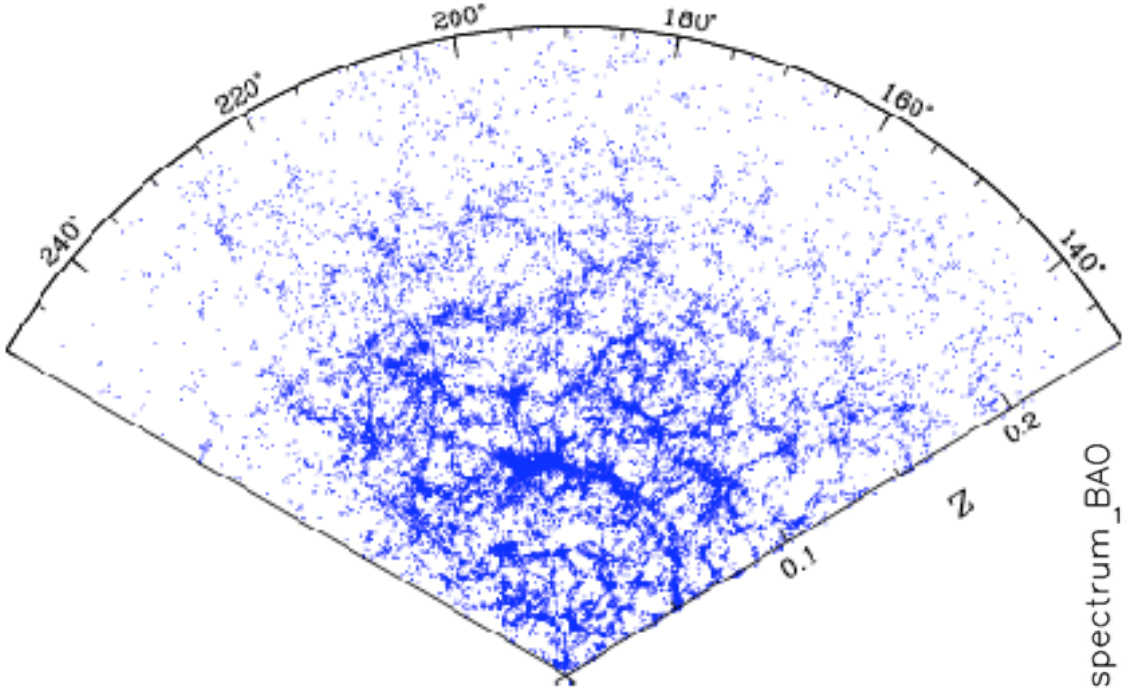
Distribución espacial de galaxias

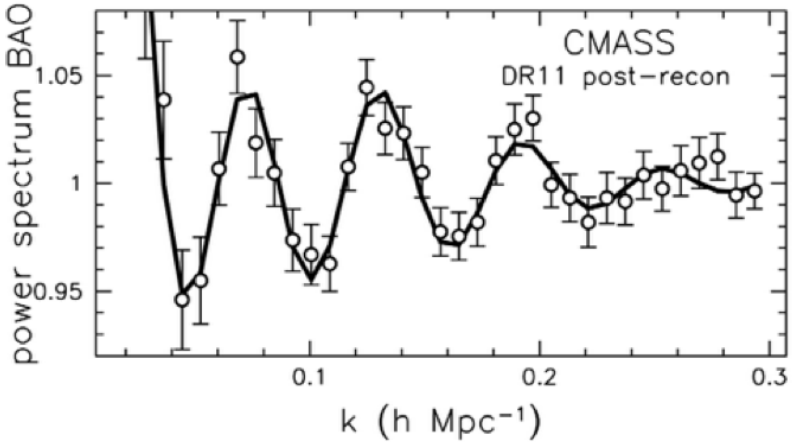


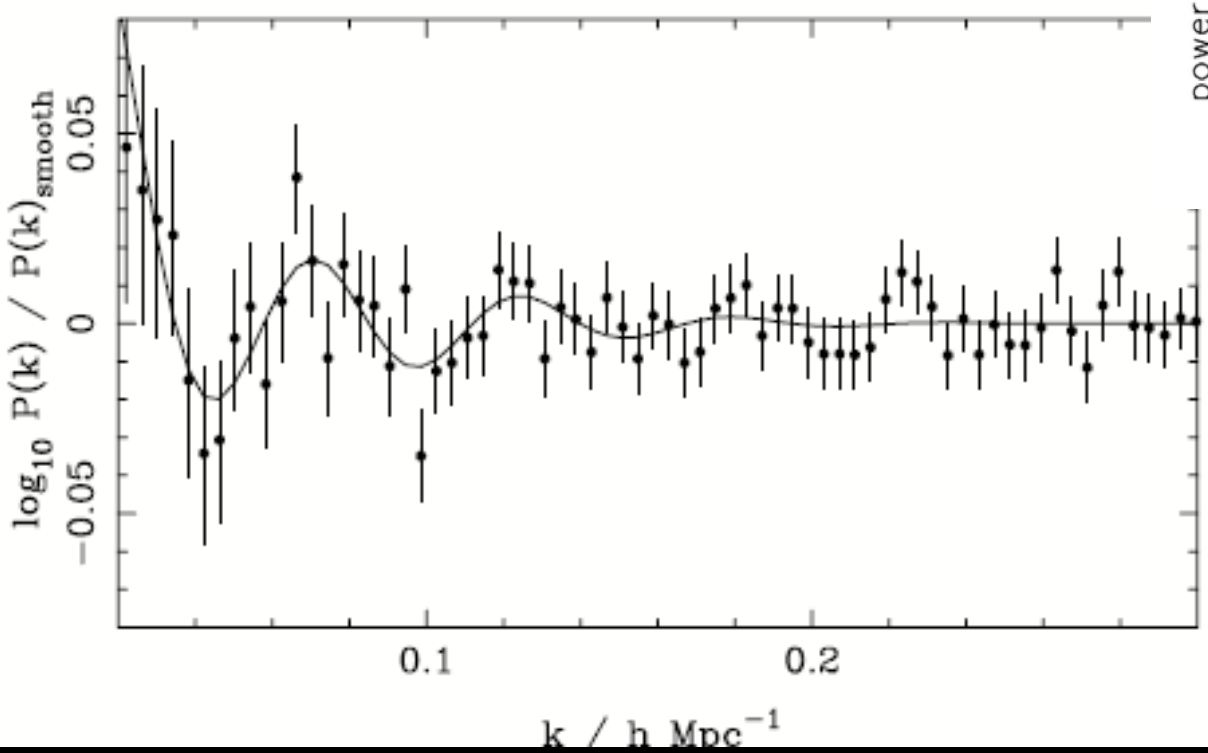
Fondo cósmico de microondas

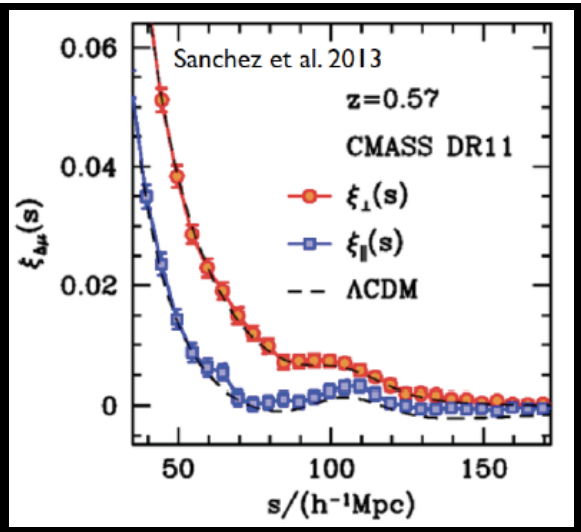


Resto fósil de las ondas de sonido en el Universo local (BAOs)

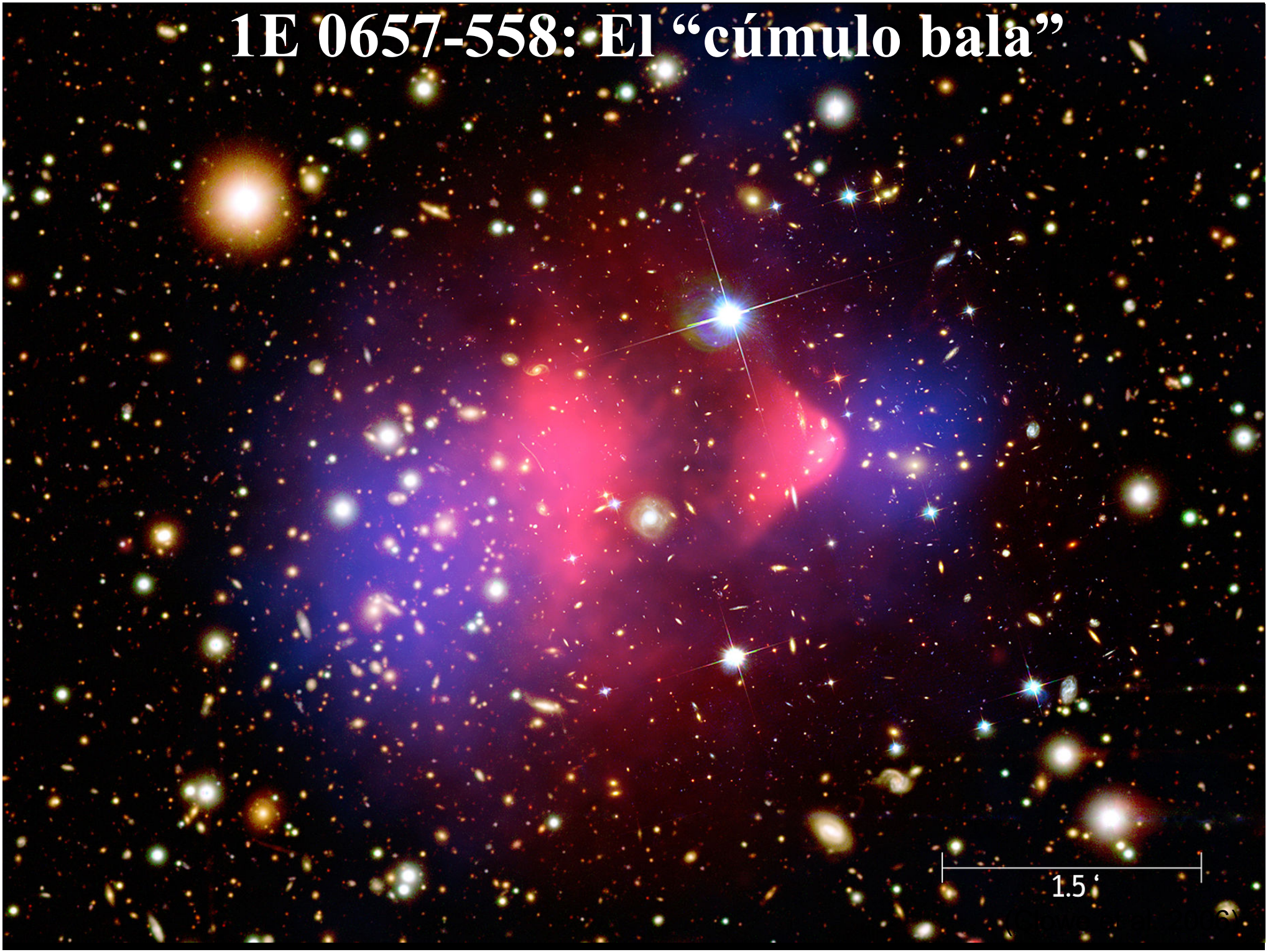








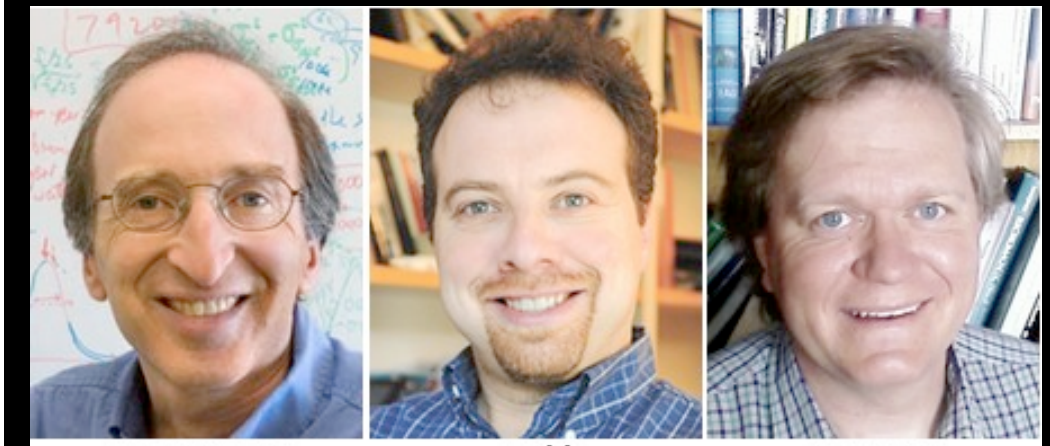
1E 0657-558: El “cúmulo bala”



Simulación de la formación y evolución de un cúmulo de galaxias con el supercomputador “Teide-HPC”

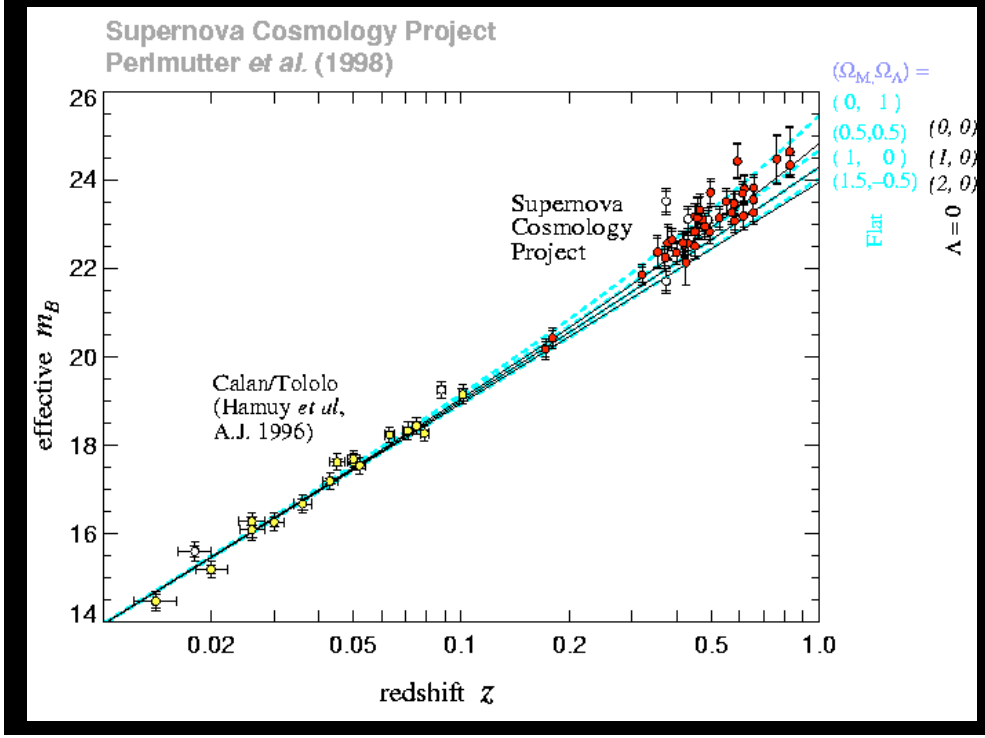
https://www.youtube.com/watch?v=InJOTkEzQtg

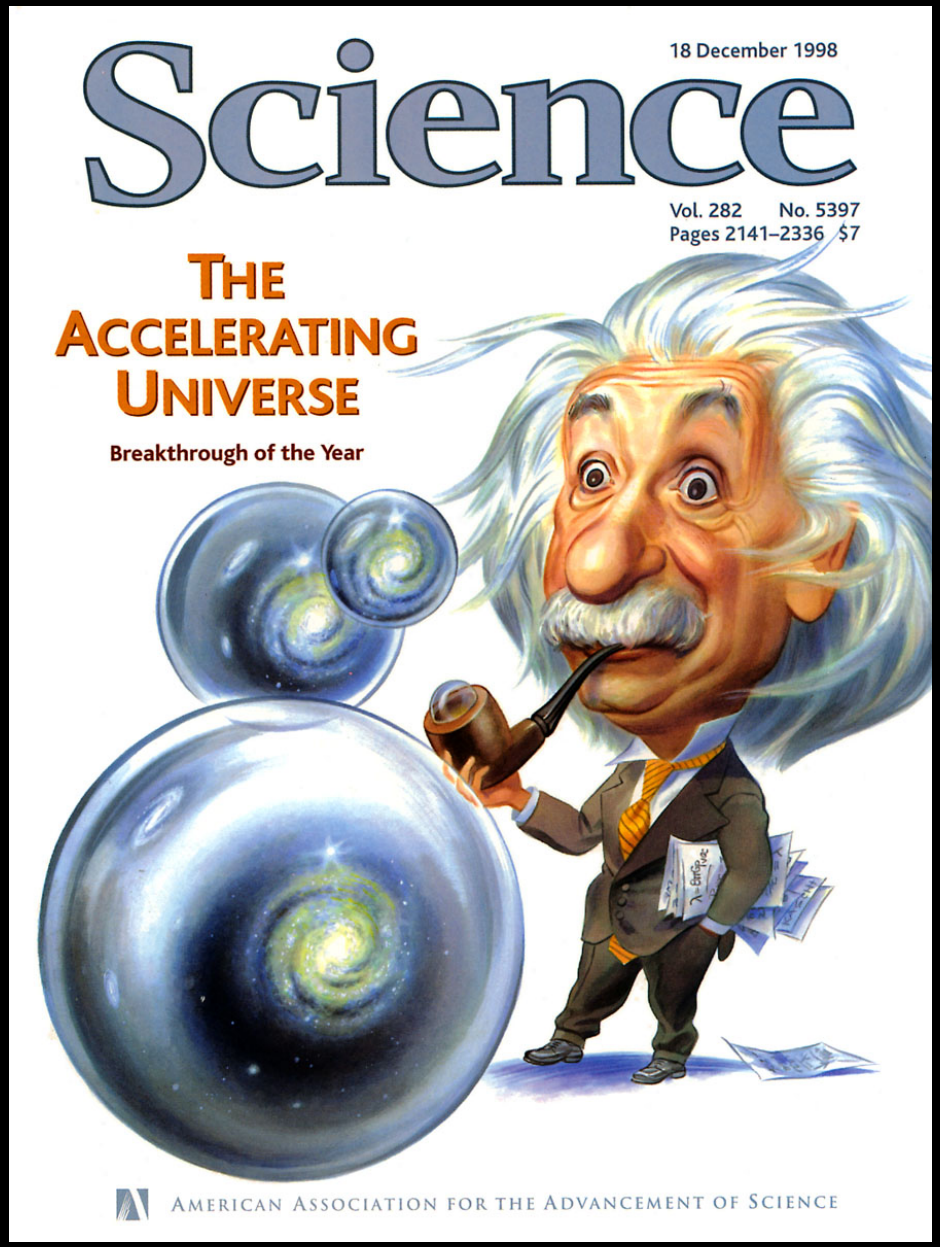
La expansión acelerada del Universo



PERLMUTTER RIESS SCHMIDT

Image Credits (left to right): Roy Kaltschmidt, LBNL; Homewood Photography; Research School of Astronomy and Astrophysics, Australian National University

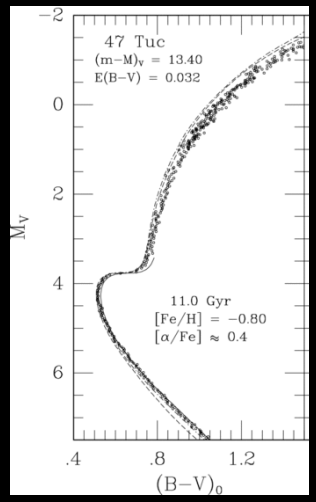




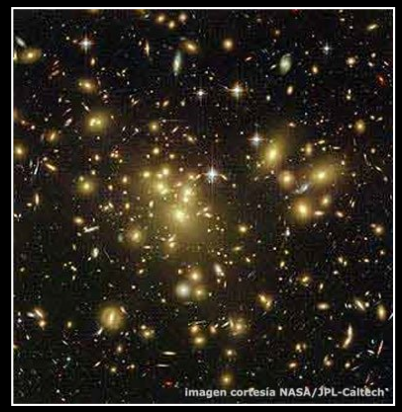
Evidencias observacionales de Energía Oscura

Supernovas Ia

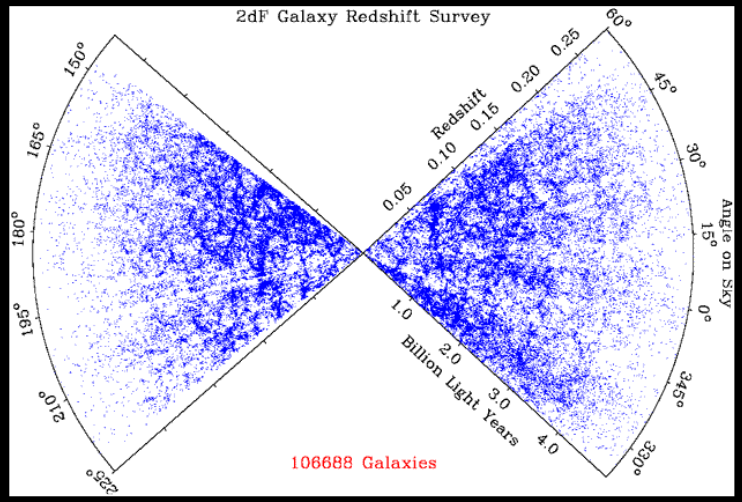
Cúmulos globulares



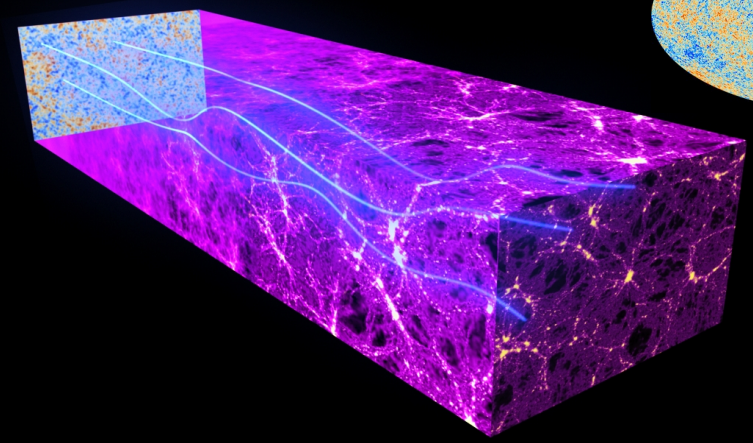
Abundancia de cúmulos de galaxias

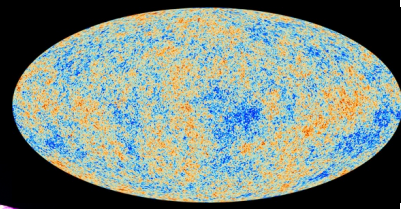


Distribución espacial de galaxias



Fondo cósmico de microondas





¿qué es la energía oscura?

- Energía oscura: ?
- Conocemos <u>sus efectos dinámicos</u>.
- La cosmología puede caracterizar sus propiedades dinámicas, estudiando el crecimiento de estructuras con el tiempo.

SNAP
Supernova Acceleration Probe

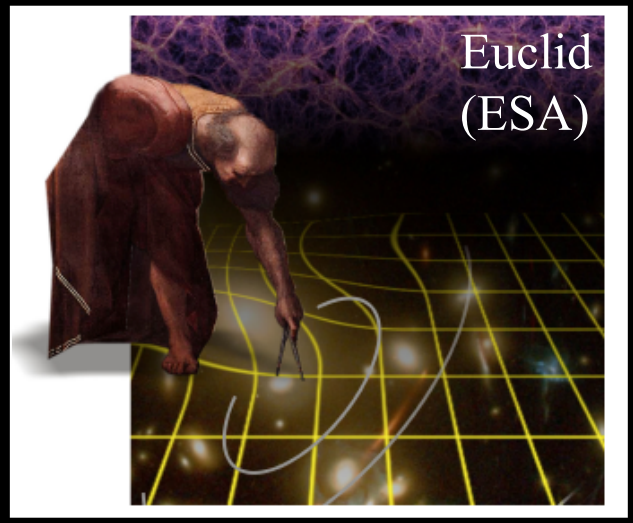
LSST
Large Synoptic Survey Telescope

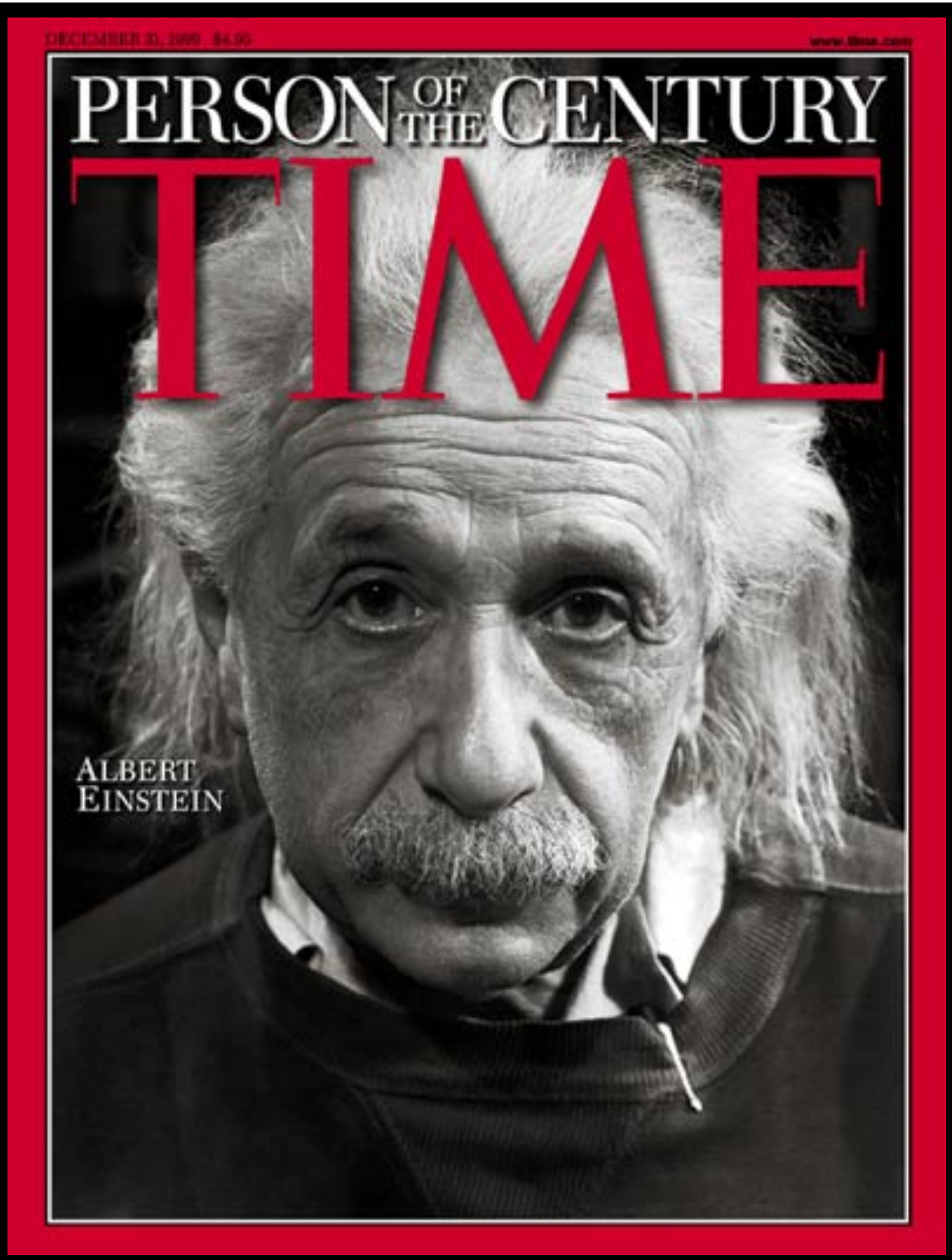
Sloan Digital Sky Survey III
Mapping the distant universe

The Dark Energy Survey

J-PAS
Jiwalambre PAU Astrophysical Survey

DARK ENERGY SPECTROSCOPIC INSTRUMENT





¿Es la energía oscura la constante cosmológica de Einstein?

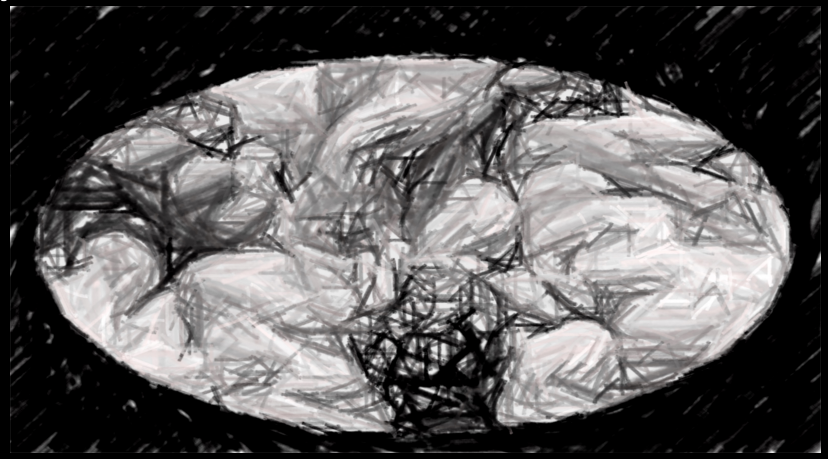
¿Cómo nació el Universo?

Inflación (expansión muy rápida en $t \sim 10^{-34}$ s)

(0.00000000000000000000000000000001 segundos tras el Big Bang)

Alan Guth, Andrei Linde, Alexei Starobinsky

¿Cómo nació el Universo?



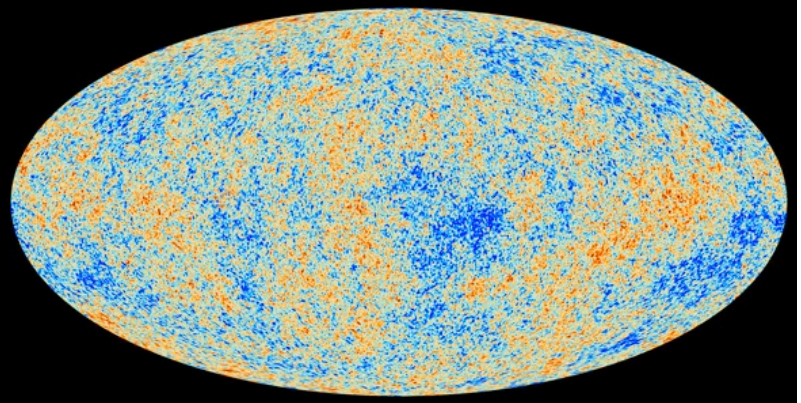
Pequeña fracción de segundo

Inflación

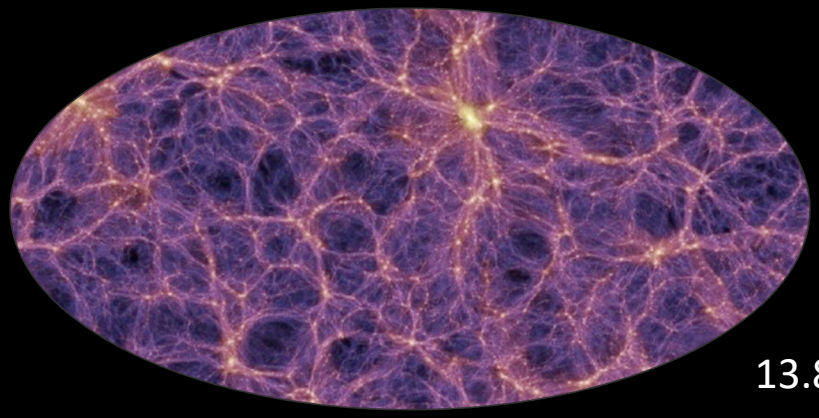
Planitud geométrica

Fluctuaciones en la Densidad Primordial:
el Germen de las Galaxias

Predicciones ¡Verificadas!



380.000 años



13.800 millones de años

Fluctuaciones cuánticas originan todas las estructuras

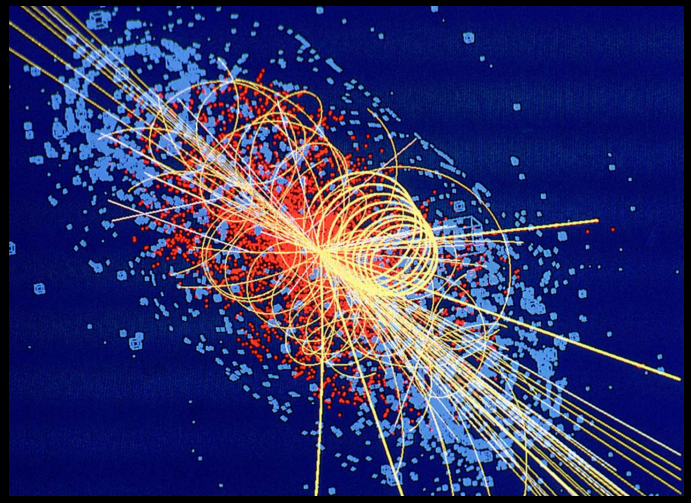
Stephen Hawking, Viatcheslav Mukhanov
(Premio Fronteras del Conocimiento 2015)

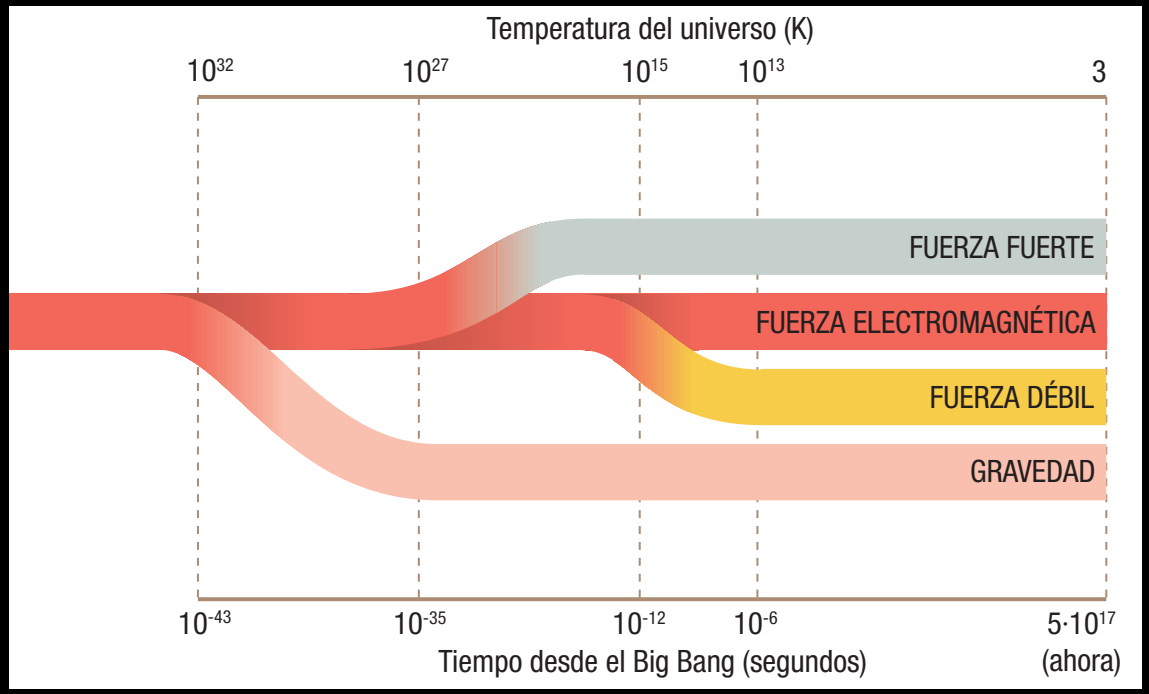
¿Cómo nació el Universo?

Pequeña fracción de segundo

Inflación

Nuevas formas de energía





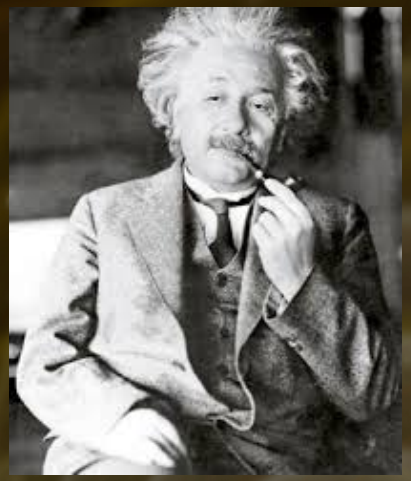
1.000.000.000.000 superiores a las que podemos alcanzar hoy día en la Tierra!

Ondas gravitacionales del Big Bang

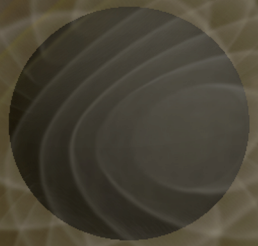
EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA

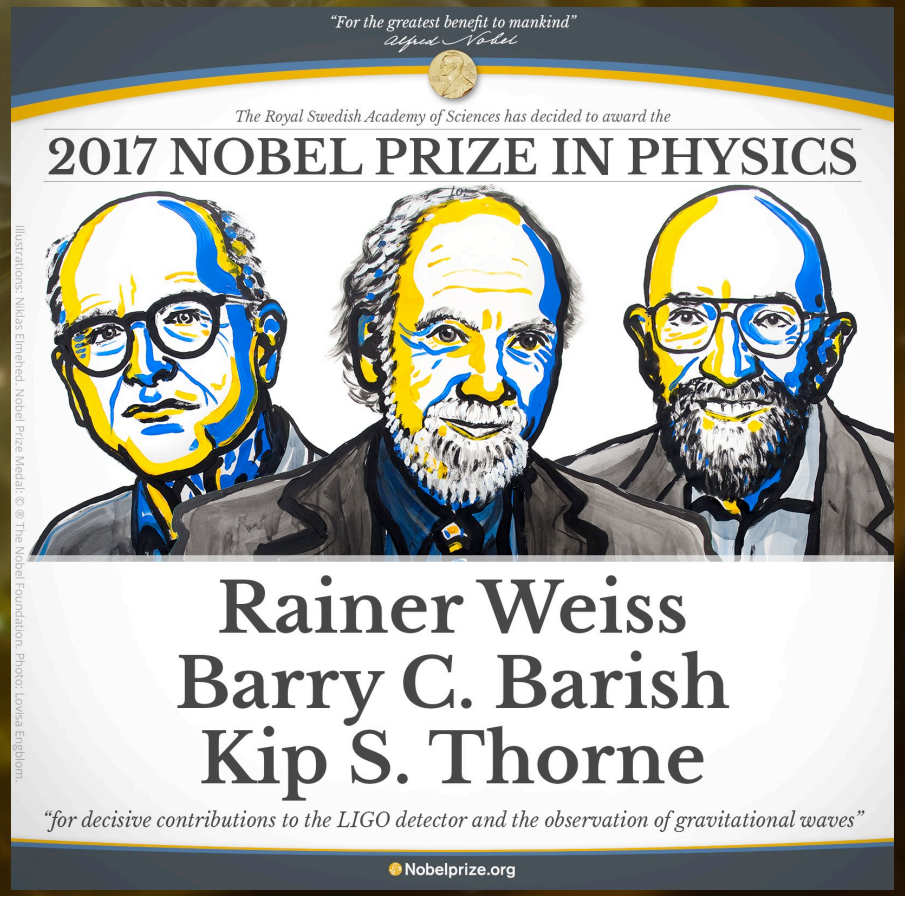
INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS · IAC

nature video



Ondas gravitacionales

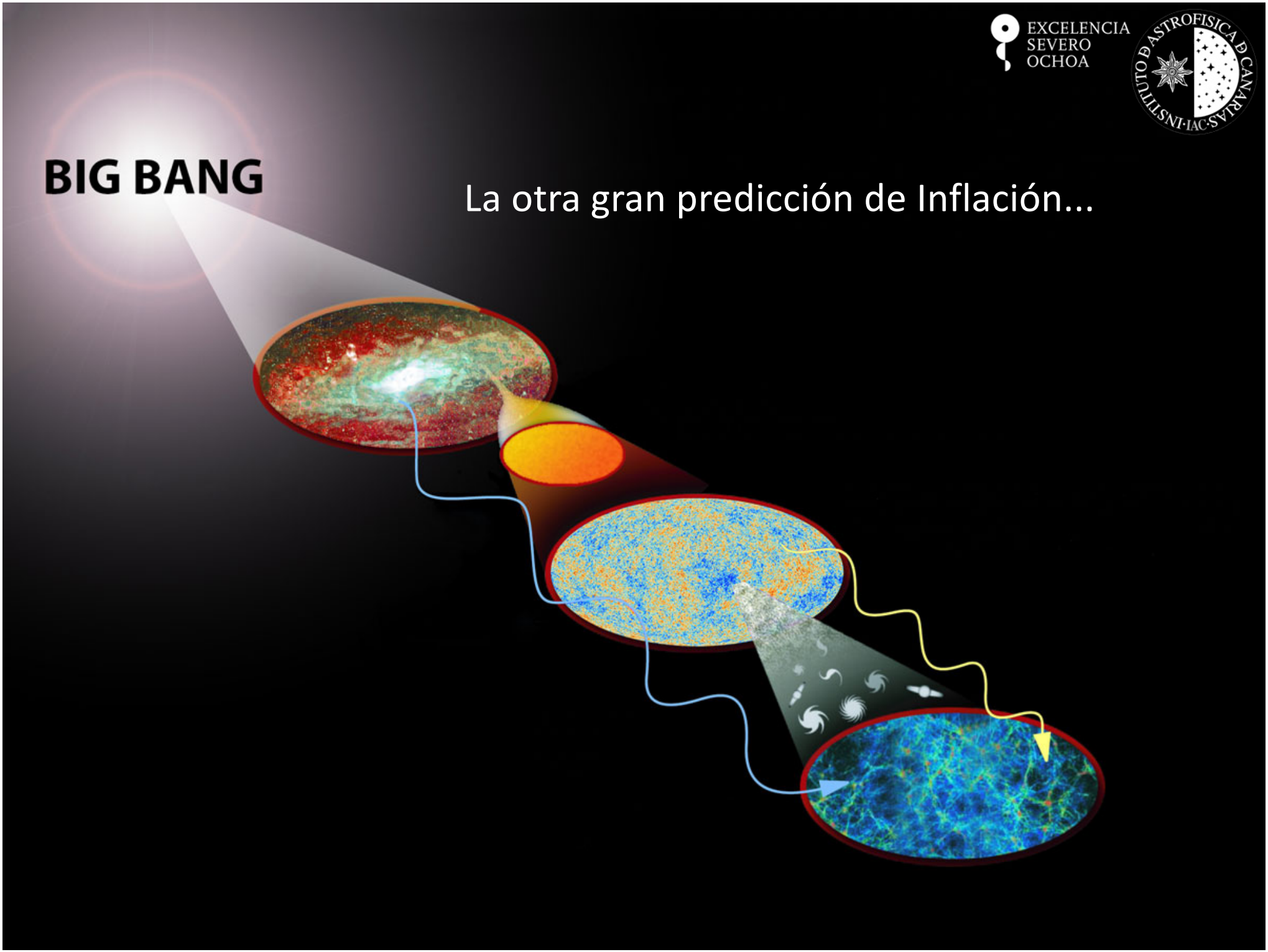




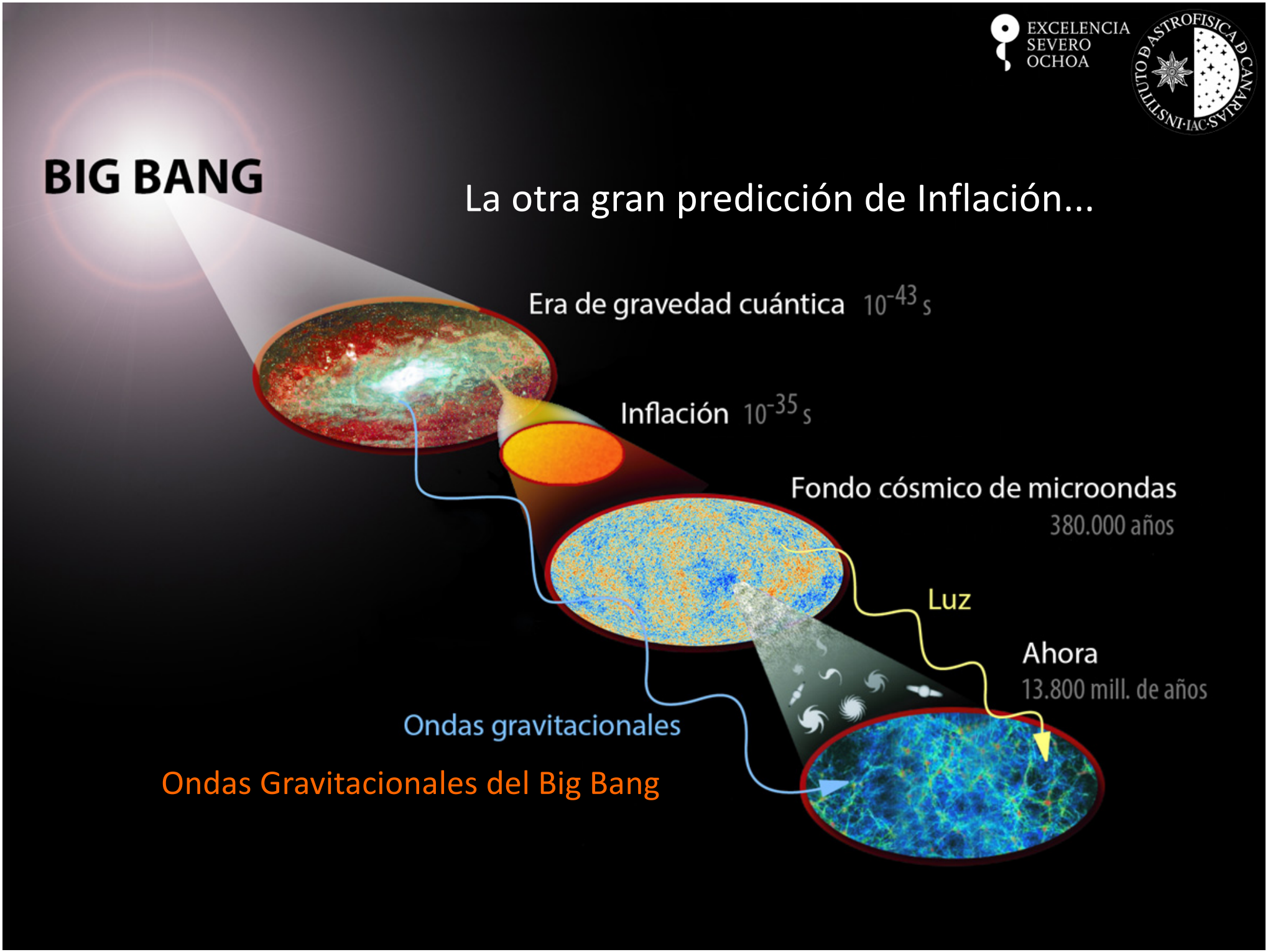
EXCELENCIA SEVERO OCHOA

INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS · IAC

La otra gran predicción de Inflación...

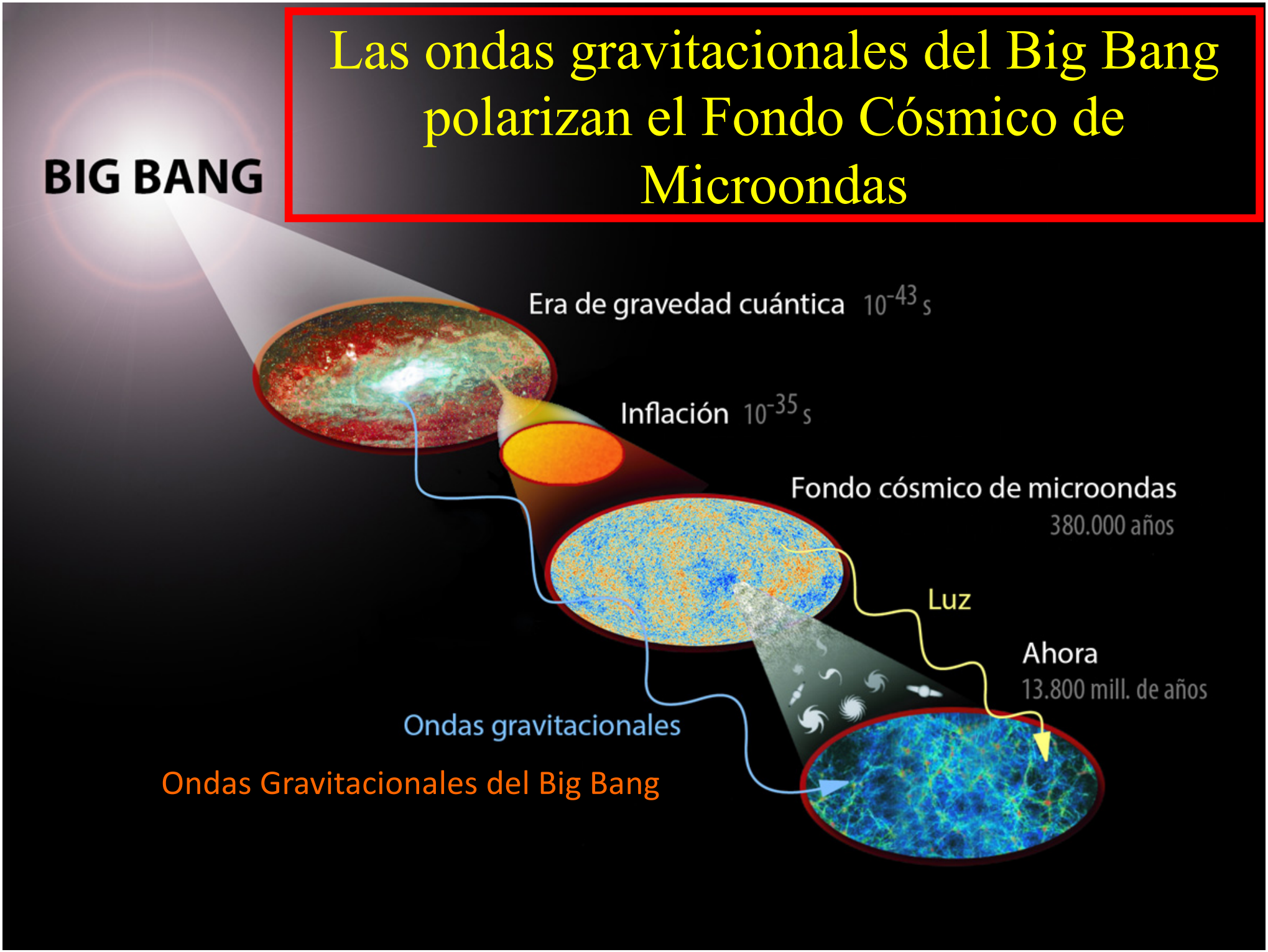


La otra gran predicción de Inflación...



Ondas Gravitacionales del Big Bang

Las ondas gravitacionales del Big Bang polarizan el Fondo Cósmico de Microondas

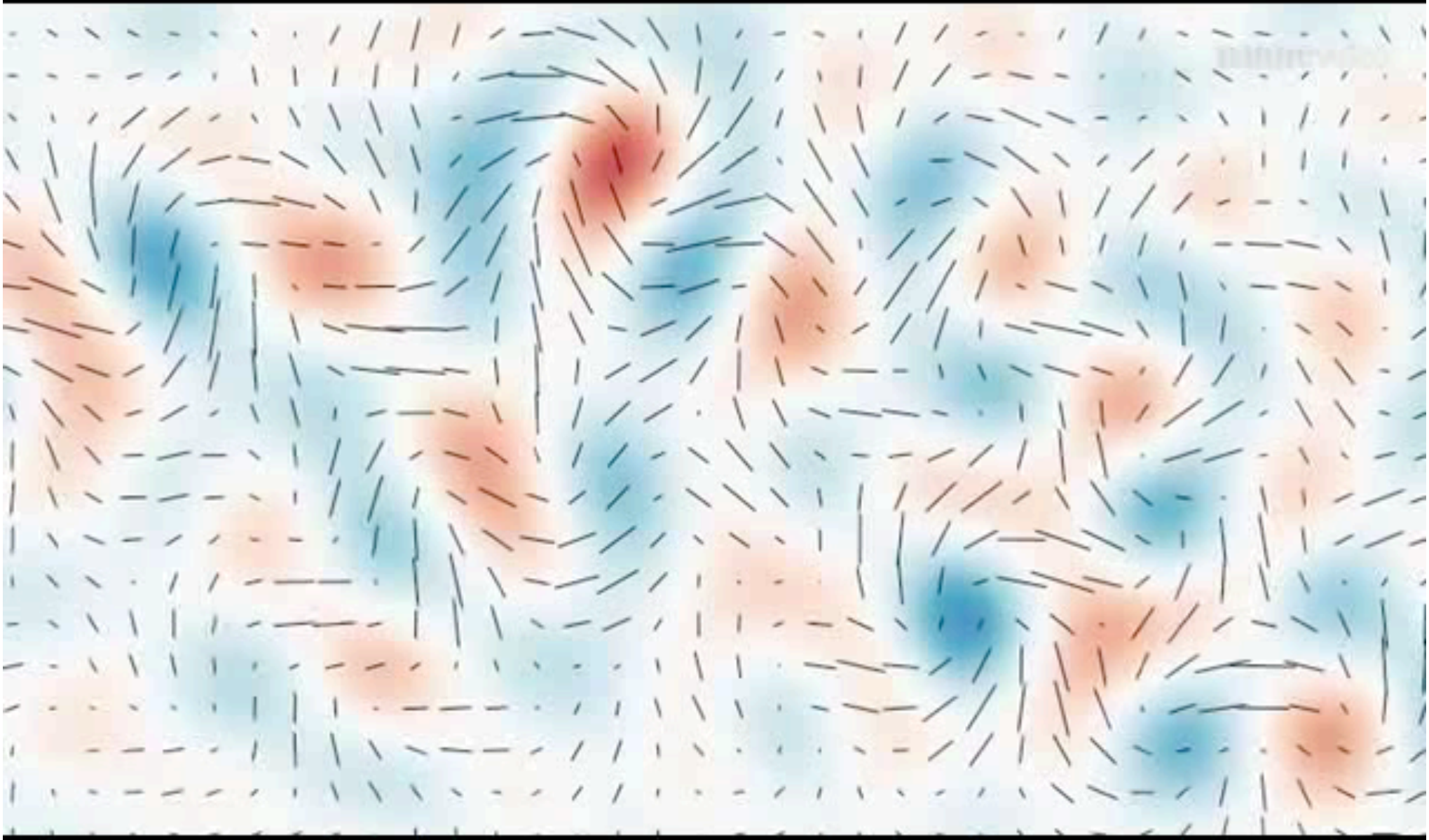


Ondas Gravitacionales del Big Bang

Ondas gravitacionales del Big Bang

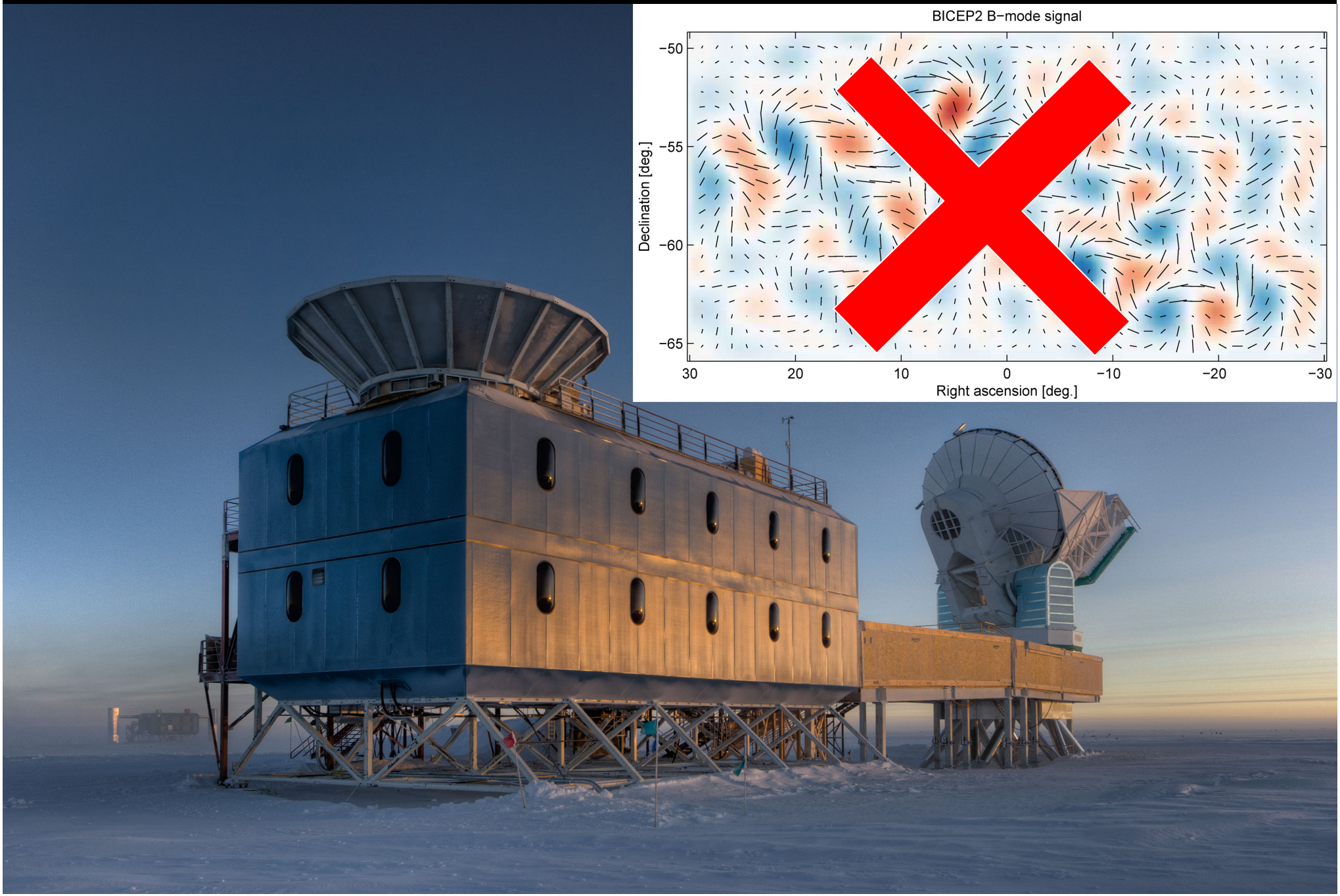
EXCELENCIA SEVERO OCHOA

INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS · IAC

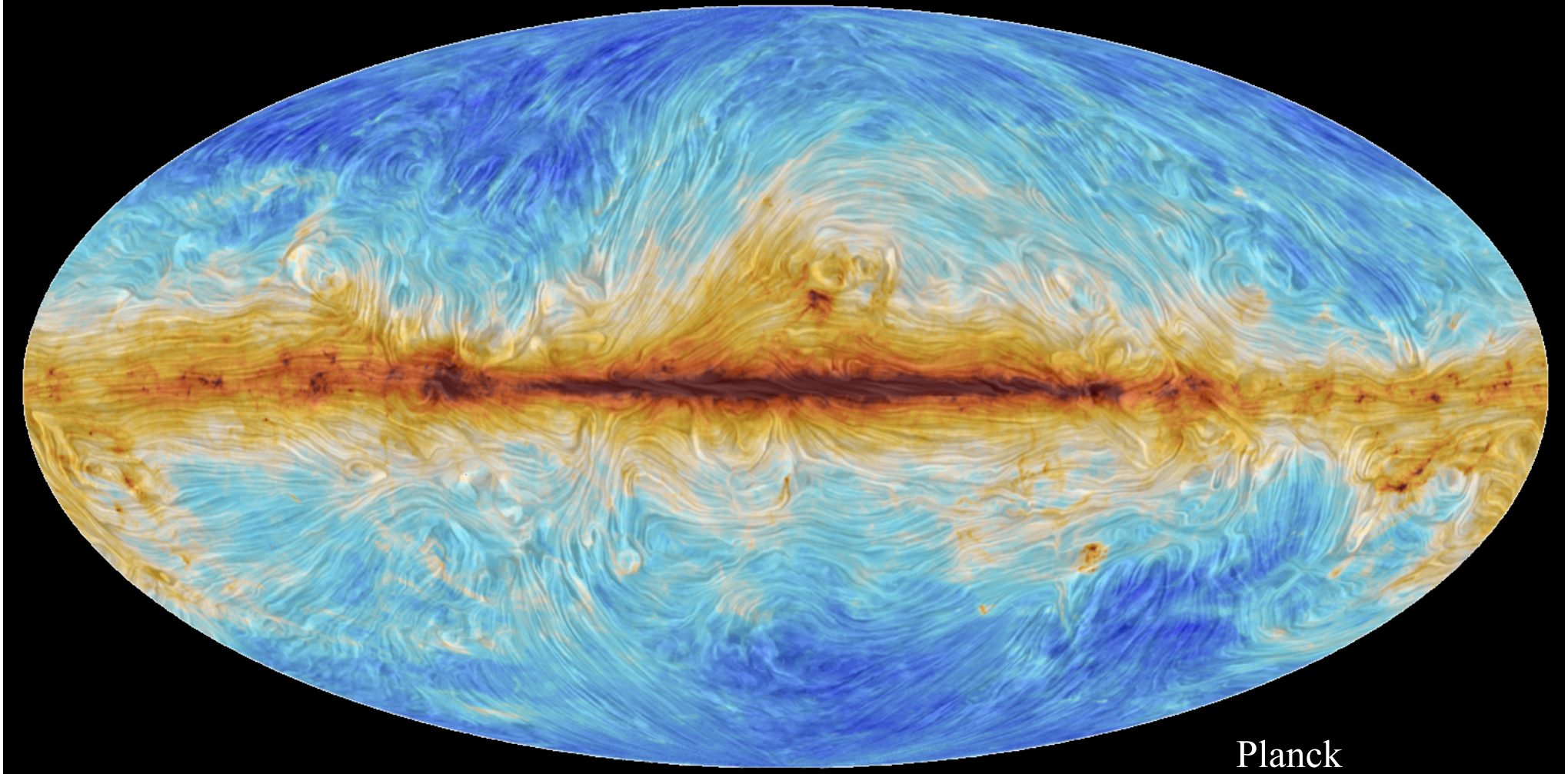


Detección de modos B de polarización por el experimento BICEP2??

17 Marzo, 2014



La emisión de nuestra Galaxia dificulta la observación de la señal del fondo.
Dos mecanismos de emisión: granos de polvo y rayos cósmicos.
Campo magnético galáctico.



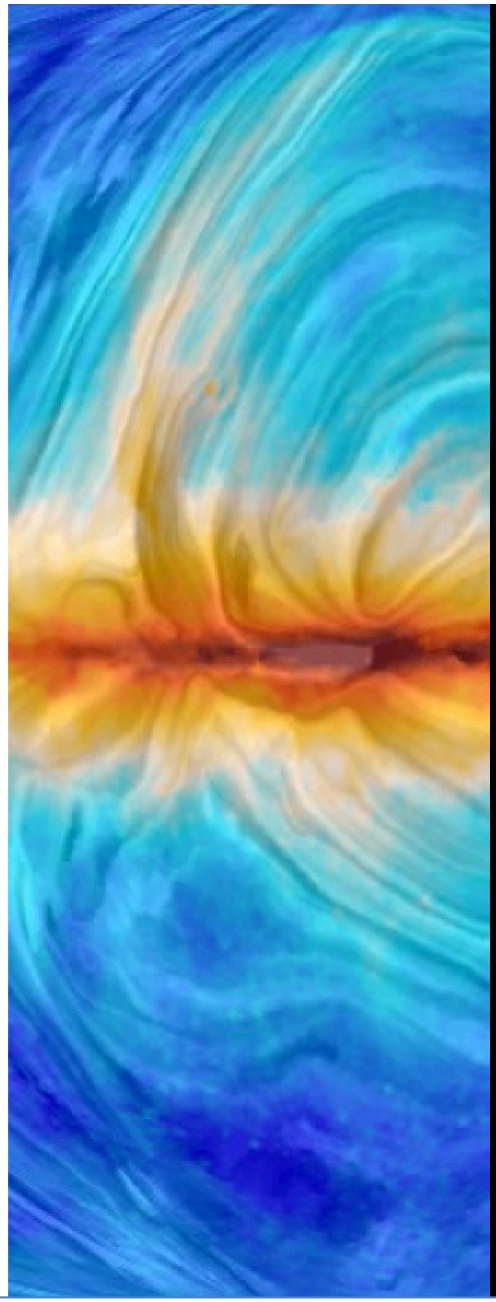
Planck

El Experimento QUIJOTE

(@QuijoteCMB)

Modelando los procesos de
Emisión en Radio:
Un ingrediente esencial para la Cosmología

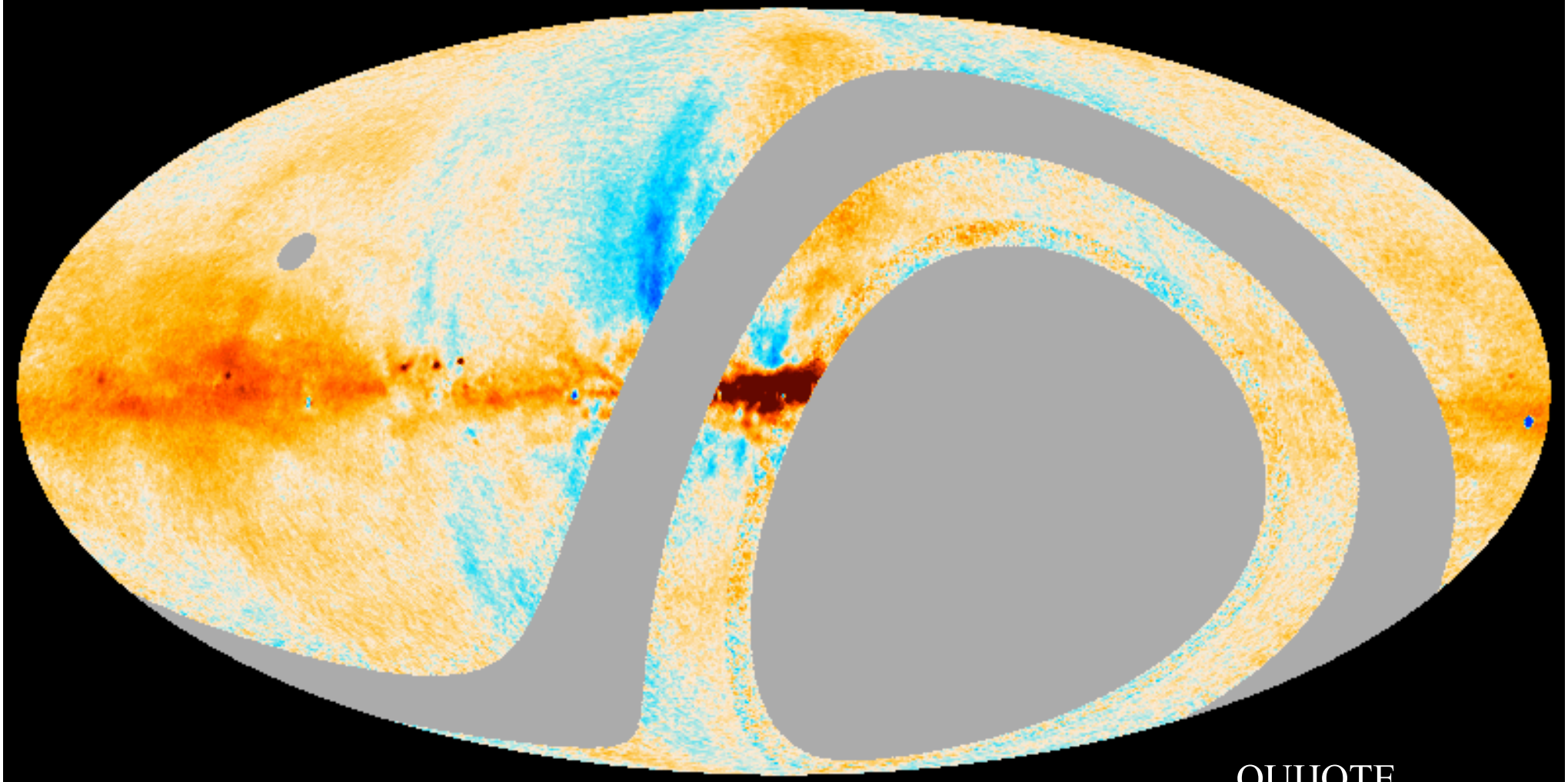
RADIO FOREGROUNDS



"Este proyecto ha recibido financiación del programa Horizon 2020 de investigación y desarrollo COMPET-05-2015 de la Unión Europea, bajo el acuerdo número 687312."

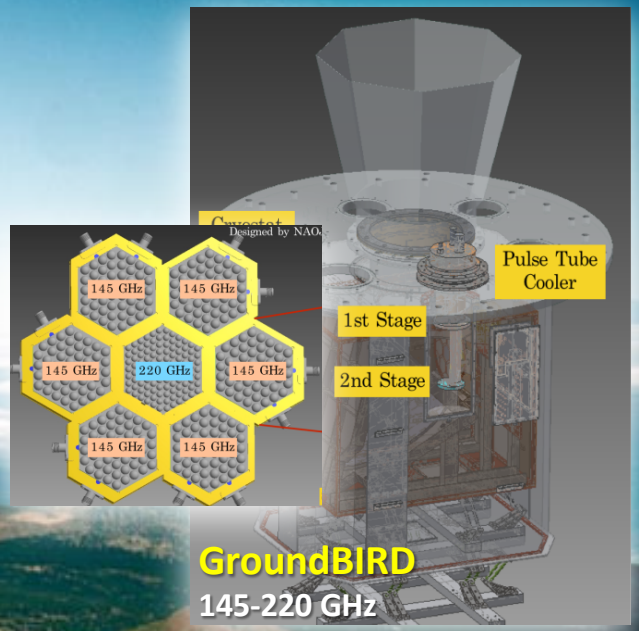
www.radioforegrounds.eu
Twitter: @radioforeground
Facebook: https://www.facebook.com/radioforegrounds

Primeros resultados de QUIJOTE: caracterizando la emisión de la galaxia a debida a rayos cósmicos. El papel del campo magnético galáctico.

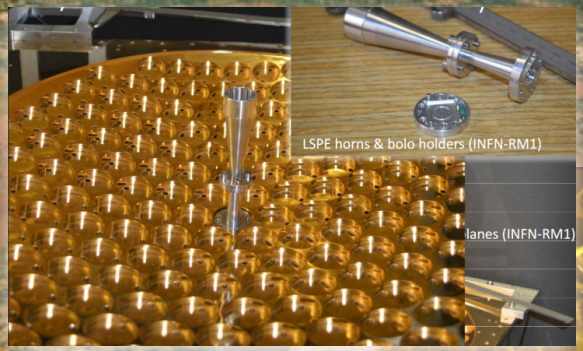


Observatorio del Teide
(Tenerife)

2020-2023:
Tres experimentos que cubren la misma área
10 frecuencias, desde 10 a 240 GHz

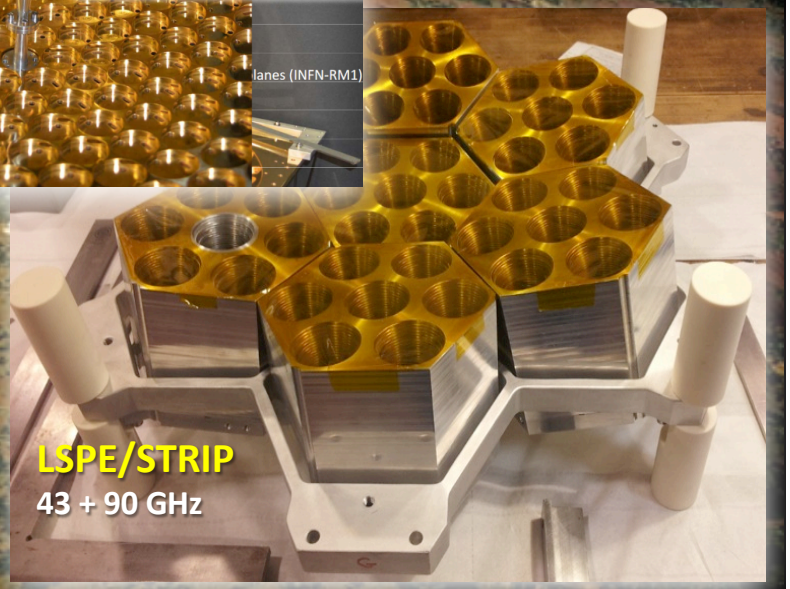


GroundBIRD
145-220 GHz



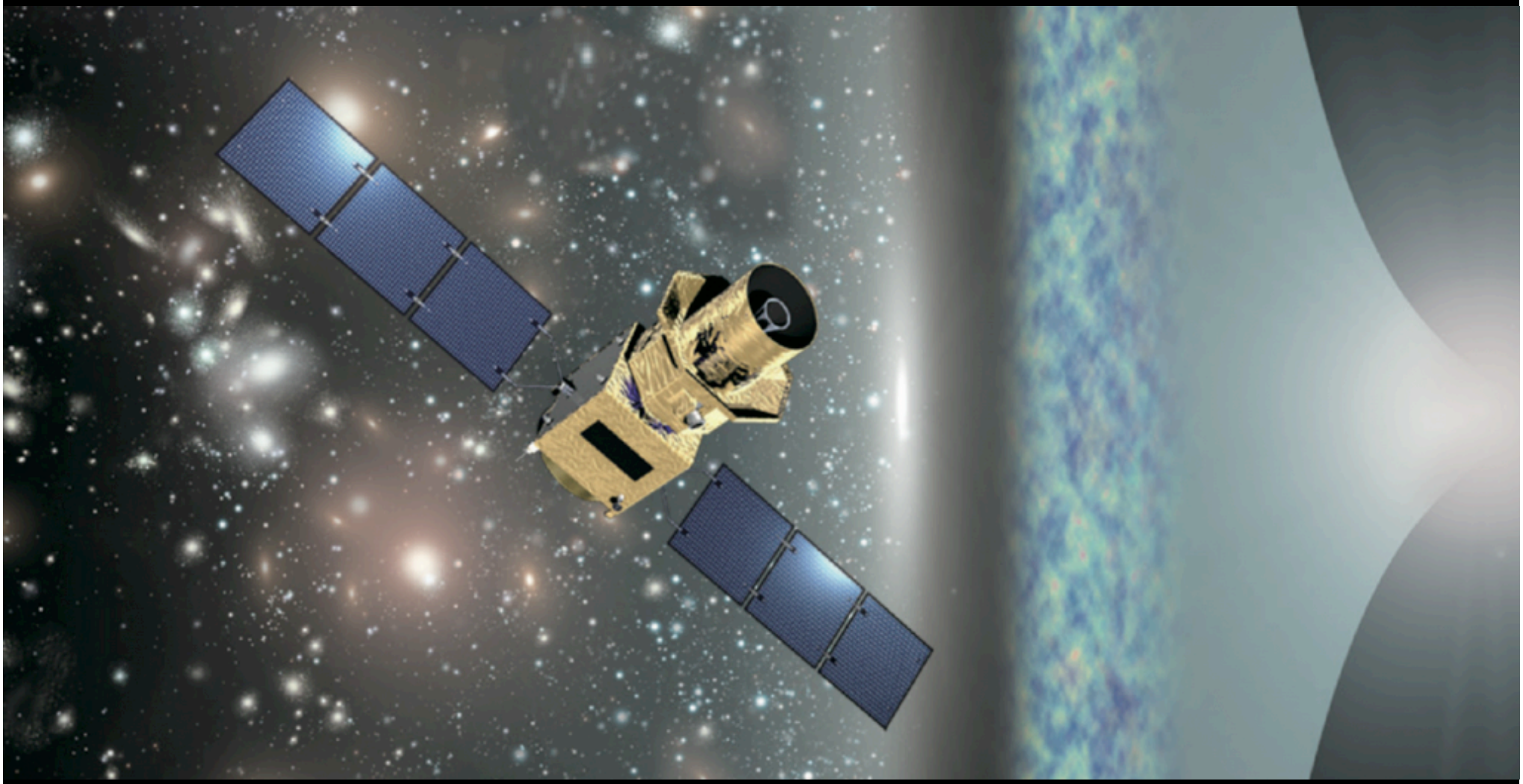
LSPE/SWIPE
140-220-240GHz

QUIJOTE
6 frequencias en el rango 10-40 GHz



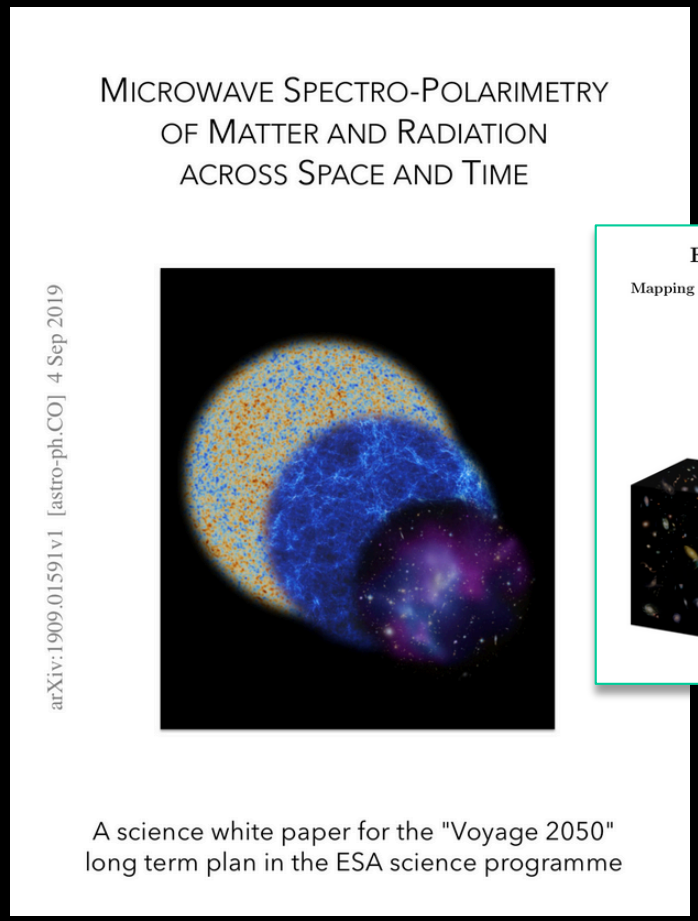
LSPE/STRIP
43 + 90 GHz

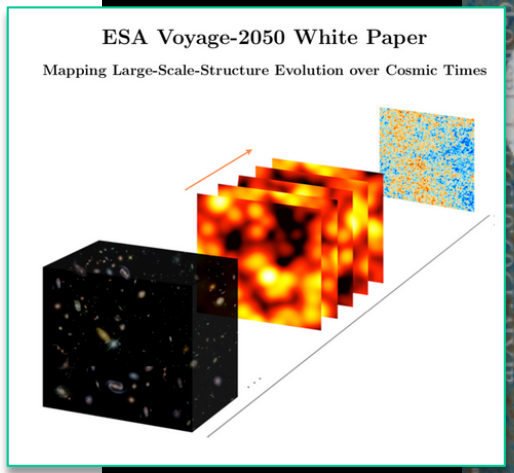
Litebird (2027-)

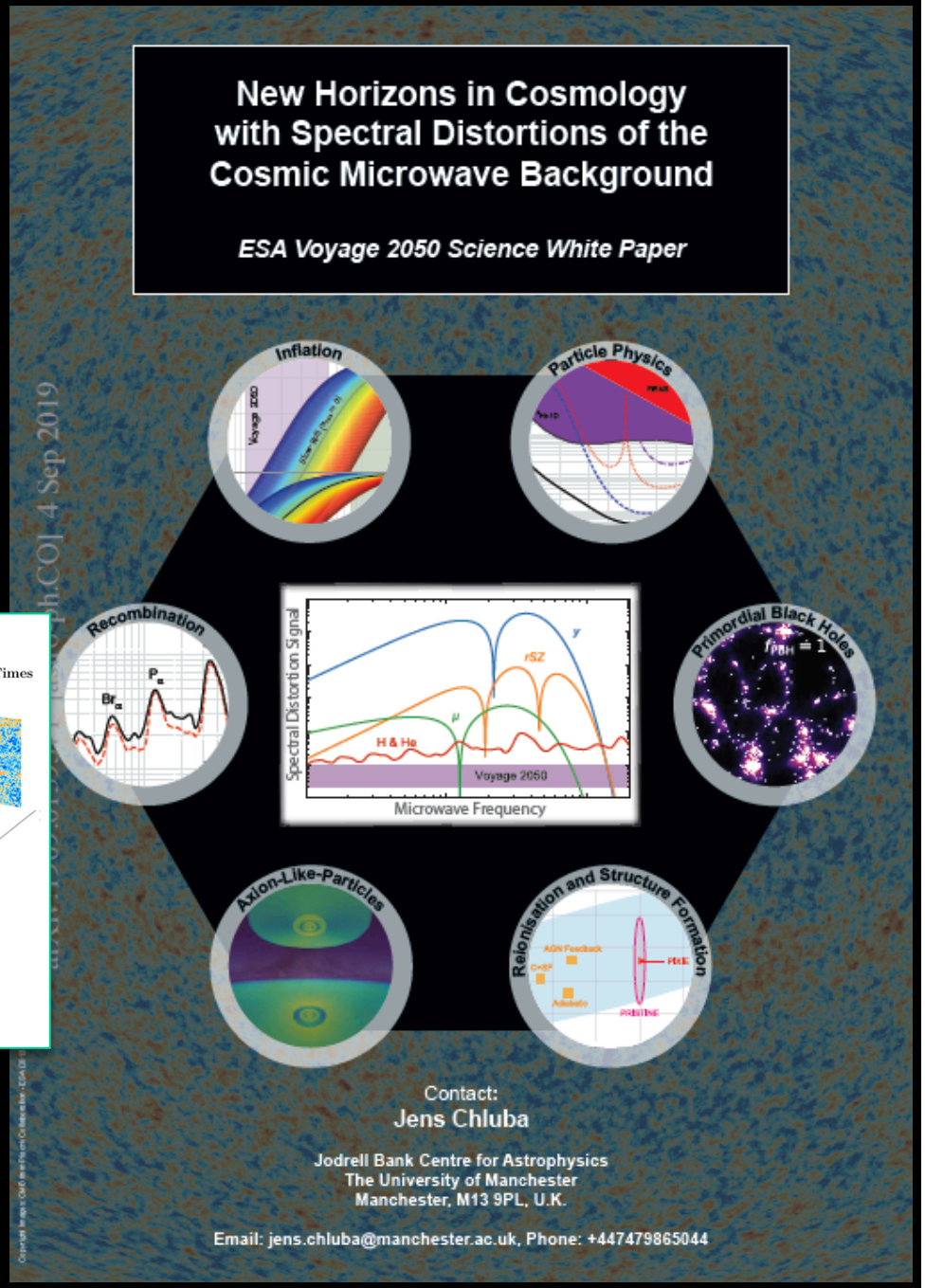


Propuestas para Voyage2050:

Historia térmica del Universo







COSMOLOGÍA MODERNA: Preguntas abiertas sobre el Universo

¿de dónde proviene la asimetría materia/anti-materia?

¿qué es la materia oscura?

¿qué es la energía oscura?

¿cómo ocurrió la inflación?

¿se basa la cosmología en los principios físicos correctos? ¿Cambian con el tiempo las leyes físicas?

¿es real la pequeña discrepancia en la determinación de H_0 extraída con medidas locales? ¿tiene implicaciones sobre el modelo cosmológico?

DANIEL LÓPEZ
ELCIELODECANARIAS.COM

Telescopio TNG. ORM / IAC. La Palma

Desafíos Futuros

¿qué es la materia oscura?
¿qué es la energía oscura?
¿cómo nació el Universo?

Fondo Cósmico de Microondas
+
Supernovas en Galaxias muy distantes
+
Evolución Temporal de la Estructura del Universo

¿Hacia Nuevas Leyes de la Física?

Quijote
Q-U-I Joint Tenerife CMB experiment
EXCELENCIA
SEVERO
OCHOA
¡Gracias!
SEA 2020 - REUNIÓN CIENTÍFICA VIRTUAL / ONLINE
SCIENTIFIC MEETING
(@QuijoteCMB)
INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS
IAC
IFCA
Instituto de Física de Cantabria
DICOM
MANCHESTER
1824
The University of Manchester
UNIVERSITY OF
CAMBRIDGE
idom