

# ¿Qué son las ondas gravitacionales?

Lo que se propaga es las perturbaciones del tensor métrico

# Inflación

Unos  $10^{-35}$  segundos tras el Big-Bang

El Universo se expandió  
exponencialmente.

La Inflación explica por qué el Universo es  
plano y por qué es homogéneo.

Variaciones de carácter cuántico dieron  
lugar a oscilaciones

# perturbaciones

Estas oscilaciones se propagaron en forma de onda.

Hasta llegar a 380.000 años tras el Big-Bang.

Época de Recombinación.

Observable gracias a la Radiación Cósmica de Microondas (CMB).

Medido por PLANCK, BICEP2, ...Quijote...

# Perturbaciones tensoriales

Hay tres tipos de perturbaciones:  
escalares,  
vectoriales (evanescentes)  
tensoriales.

Las GW producen perturbaciones tensoriales.

Las diferentes perturbaciones producen diferentes tipos de anisotropías en la CMB.

# Sachs-Wolfe

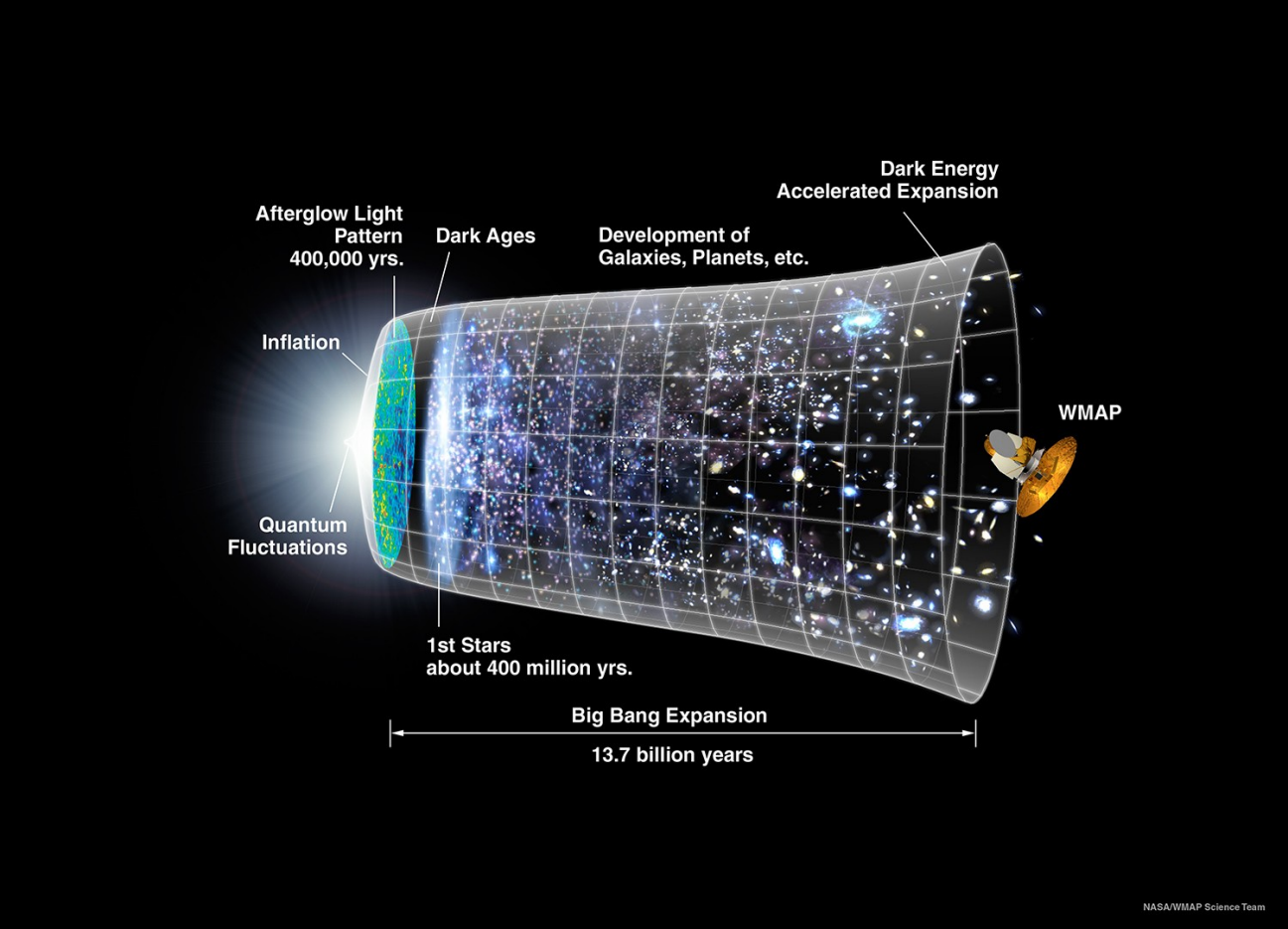
Para escalas  
mayores que  $1^\circ$   
estamos observando  
condiciones iniciales

# “vemos” GW

Las GW se produjeron en la inflación

Hoy vemos sus efectos en la  
Recombinación.

La medida es indirecta... pero es la  
primera medida

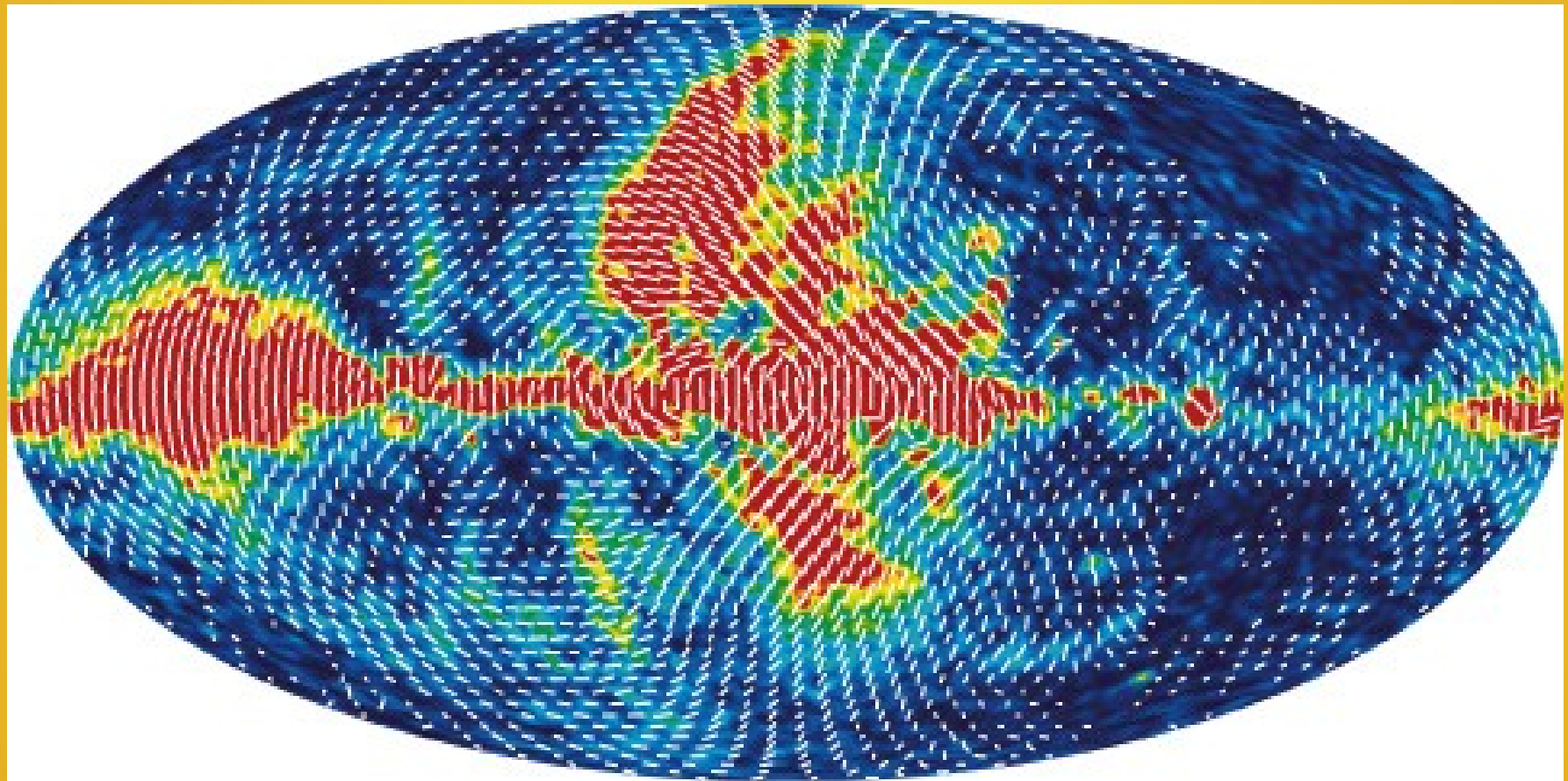


# polarización

Las GW llegan a la Recombinación y allí producen estructuras particulares en la polarización.

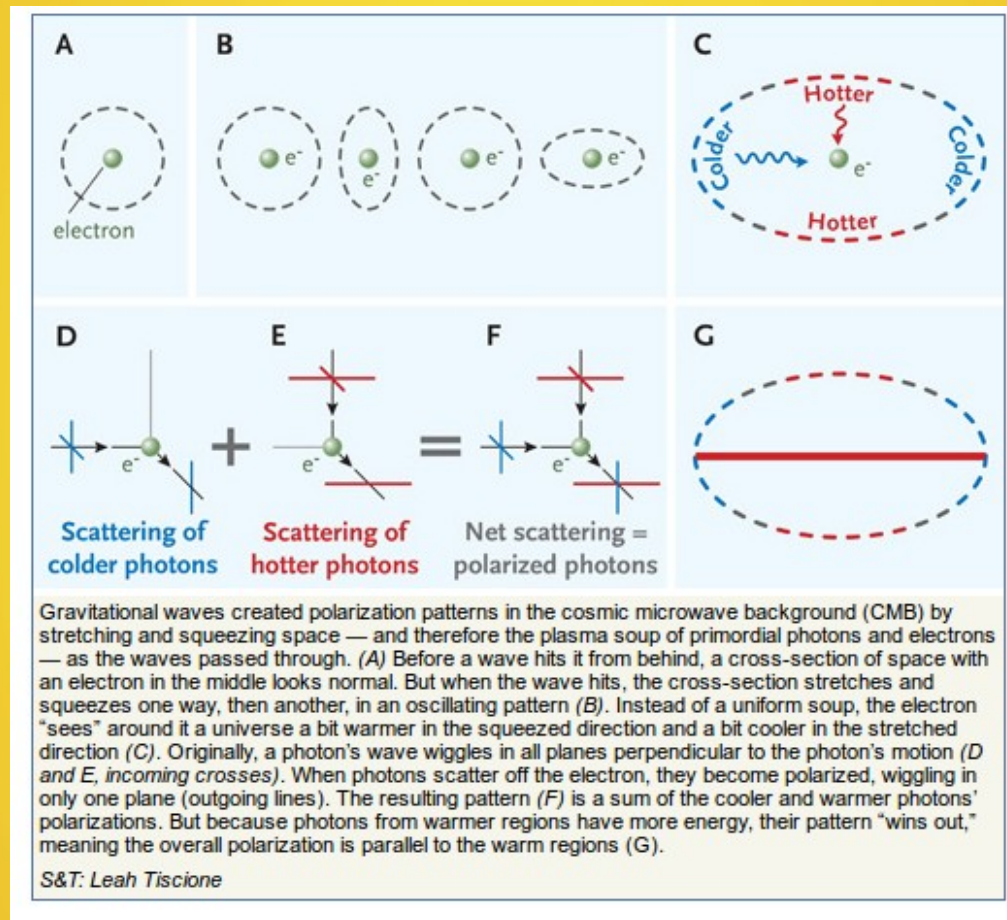
Hay polarización en el CMB,  
producida por el “scattering”  
Thomson



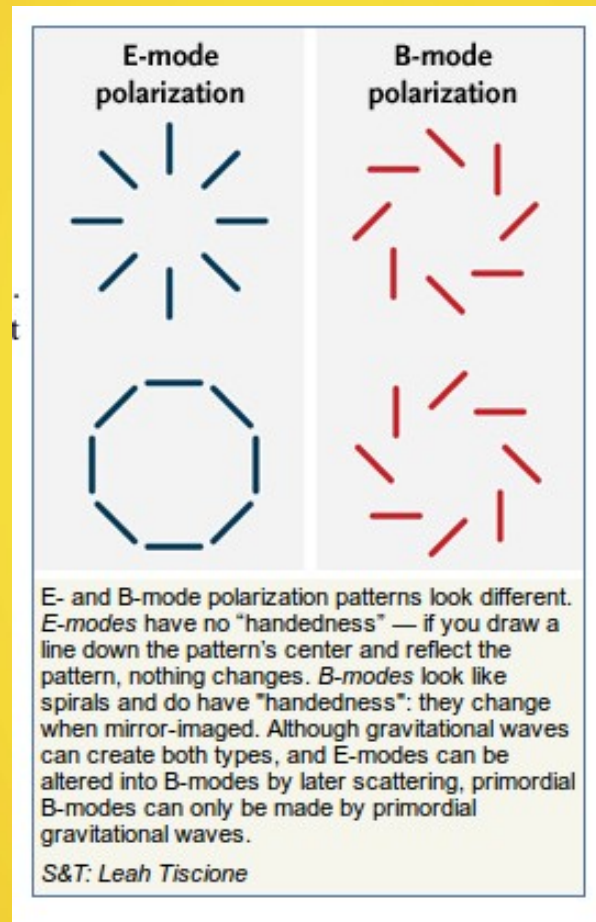


GW Battaner abril 2004

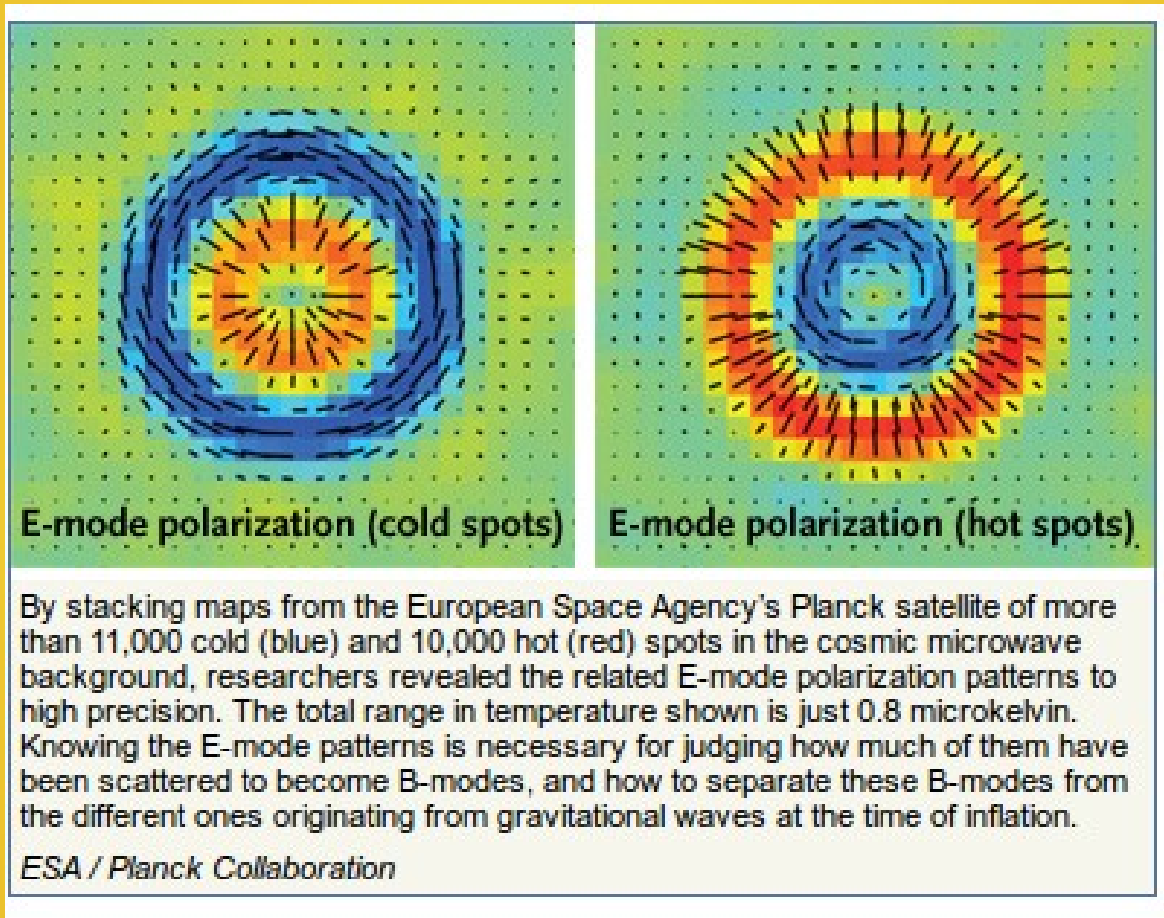
# Polarización



# Modos E y B



# Modos E



# Modos B primordiales

Las GW producen perturbaciones tensoriales primordiales.

Producen modos E y B

Sólo las GW producen modos B primordiales.

No “vemos” las GW directamente.  
Vemos su huella en el CMB

# Coeficiente $r$

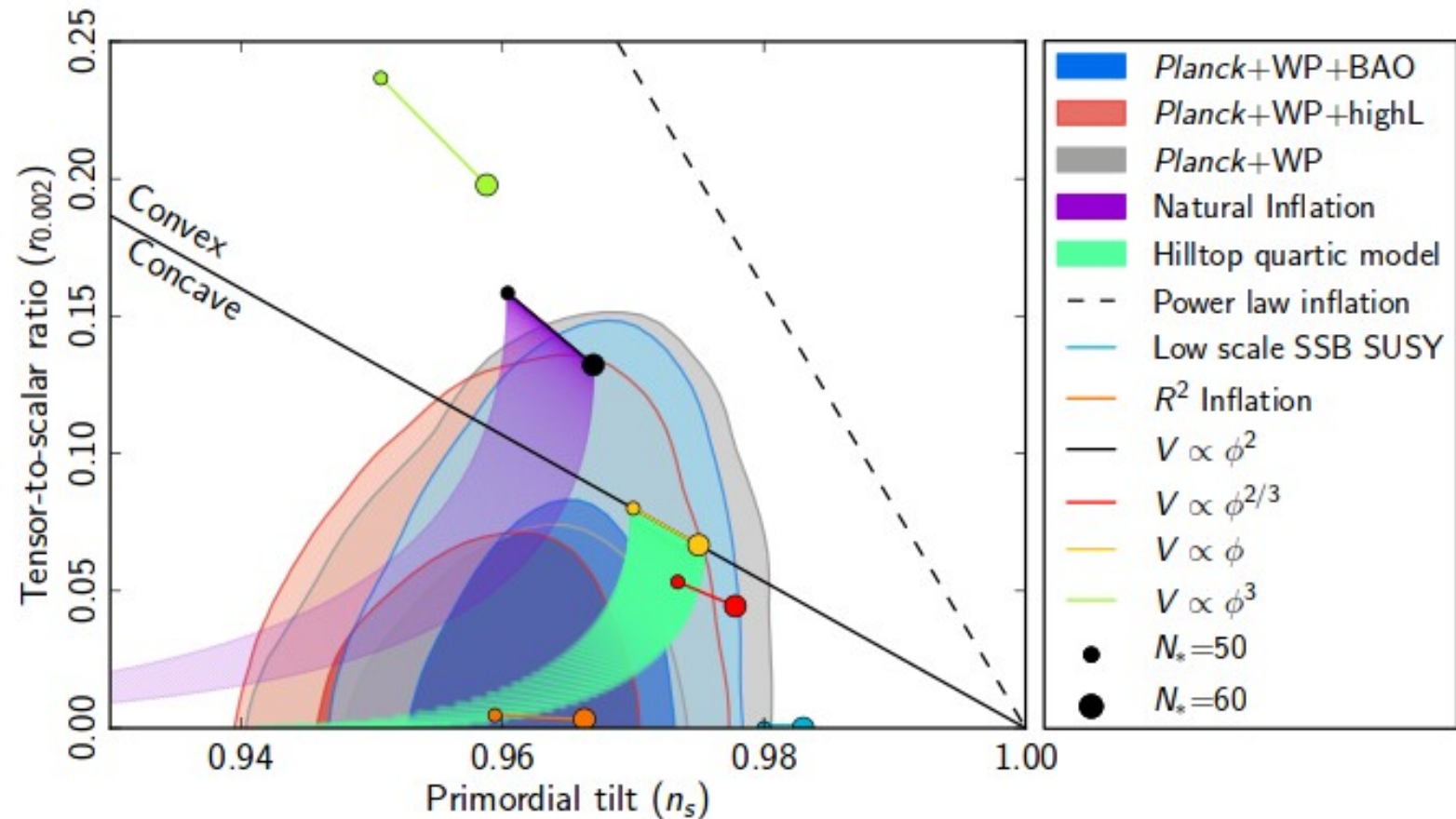
Relación entre la amplitud de los modos tensoriales y la amplitud de los modos escalares.

Planck:  $r < 0,1$

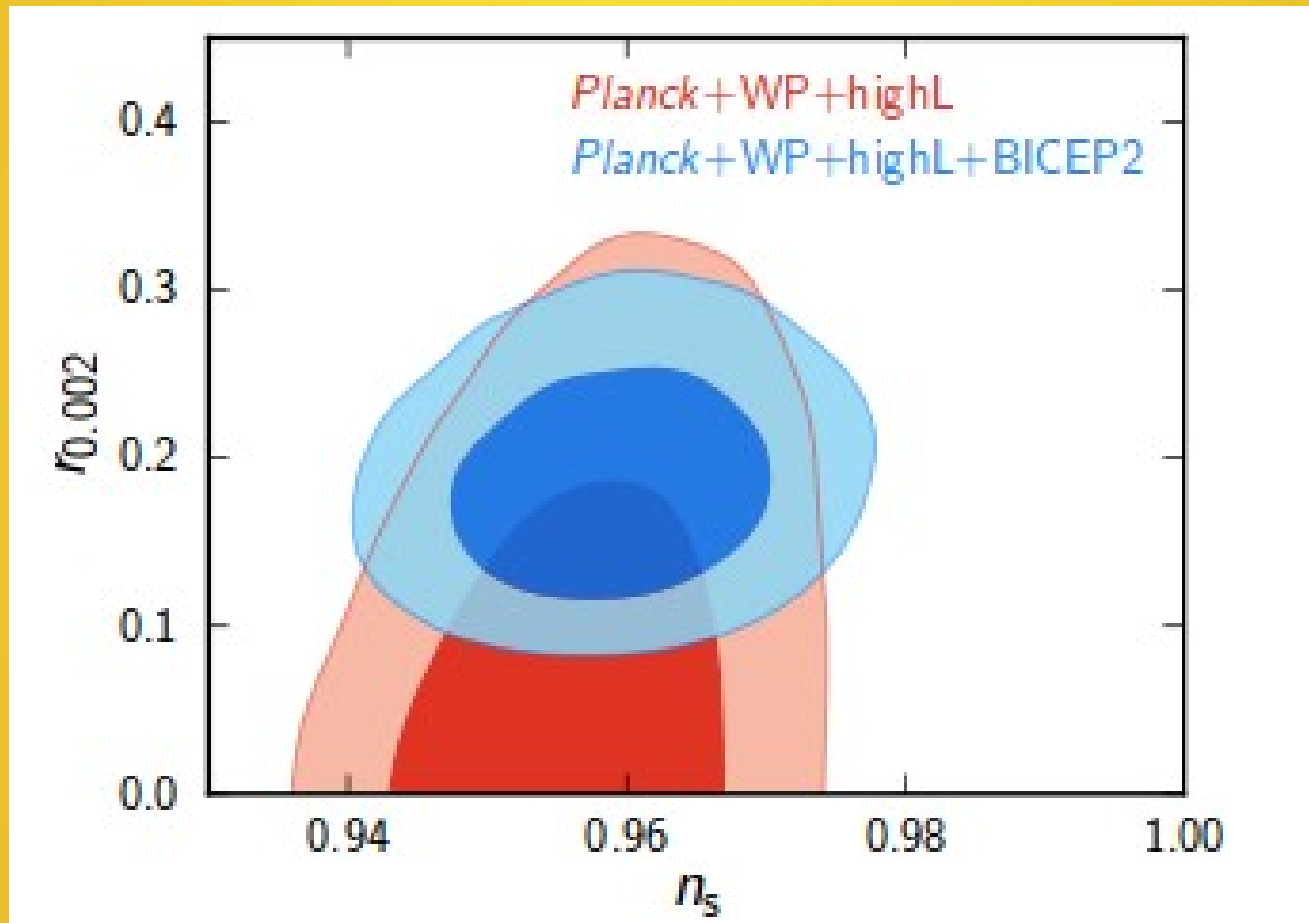
Con este valor BICEP2 no hubiera visto nada.

Pero BICEP2 asegura  $r = 0,2$  aprox.

# Coeficiente r

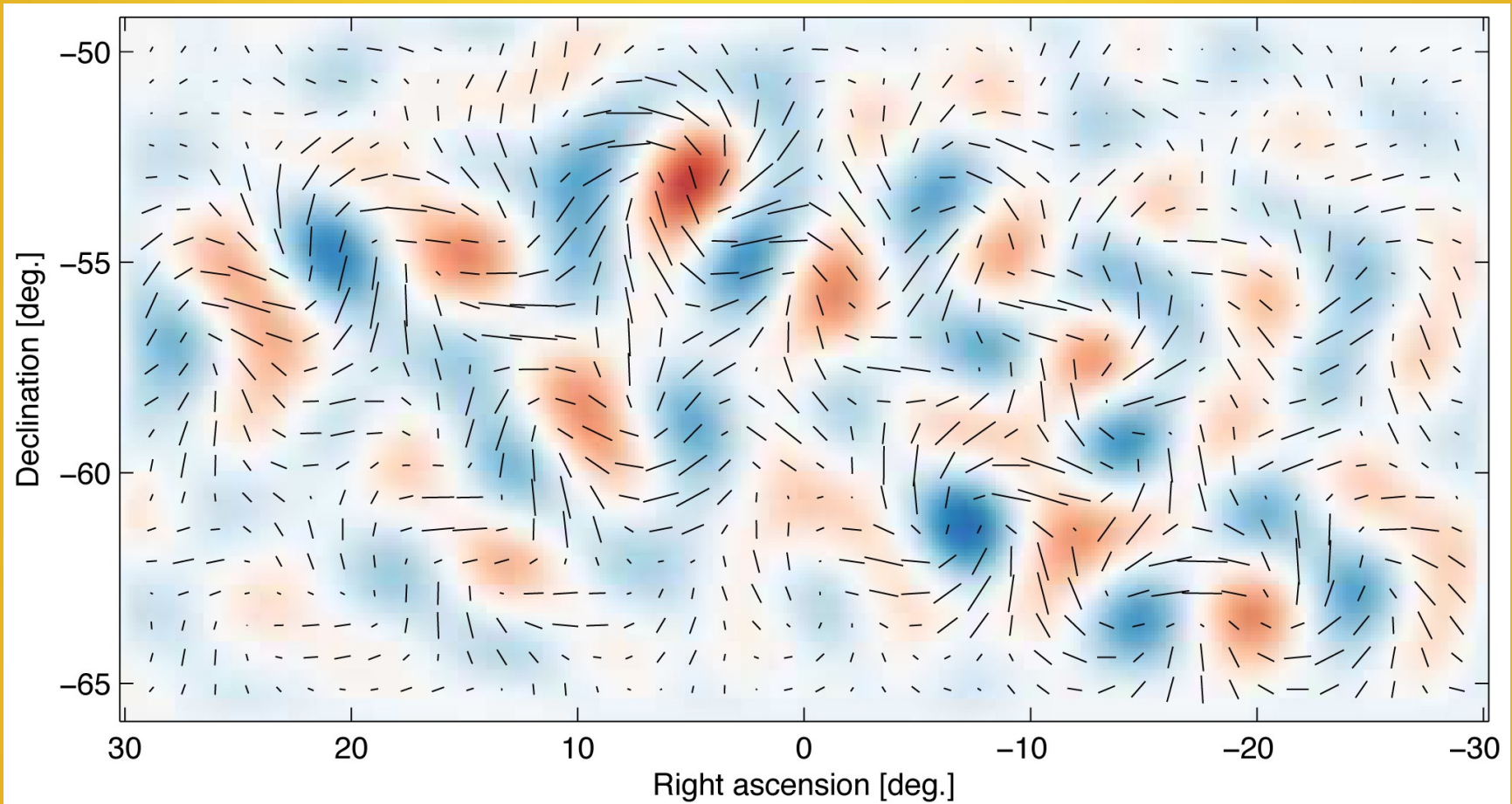


# R Planck y bicep2





# Ondas gravitacionales



# Otras explicaciones?

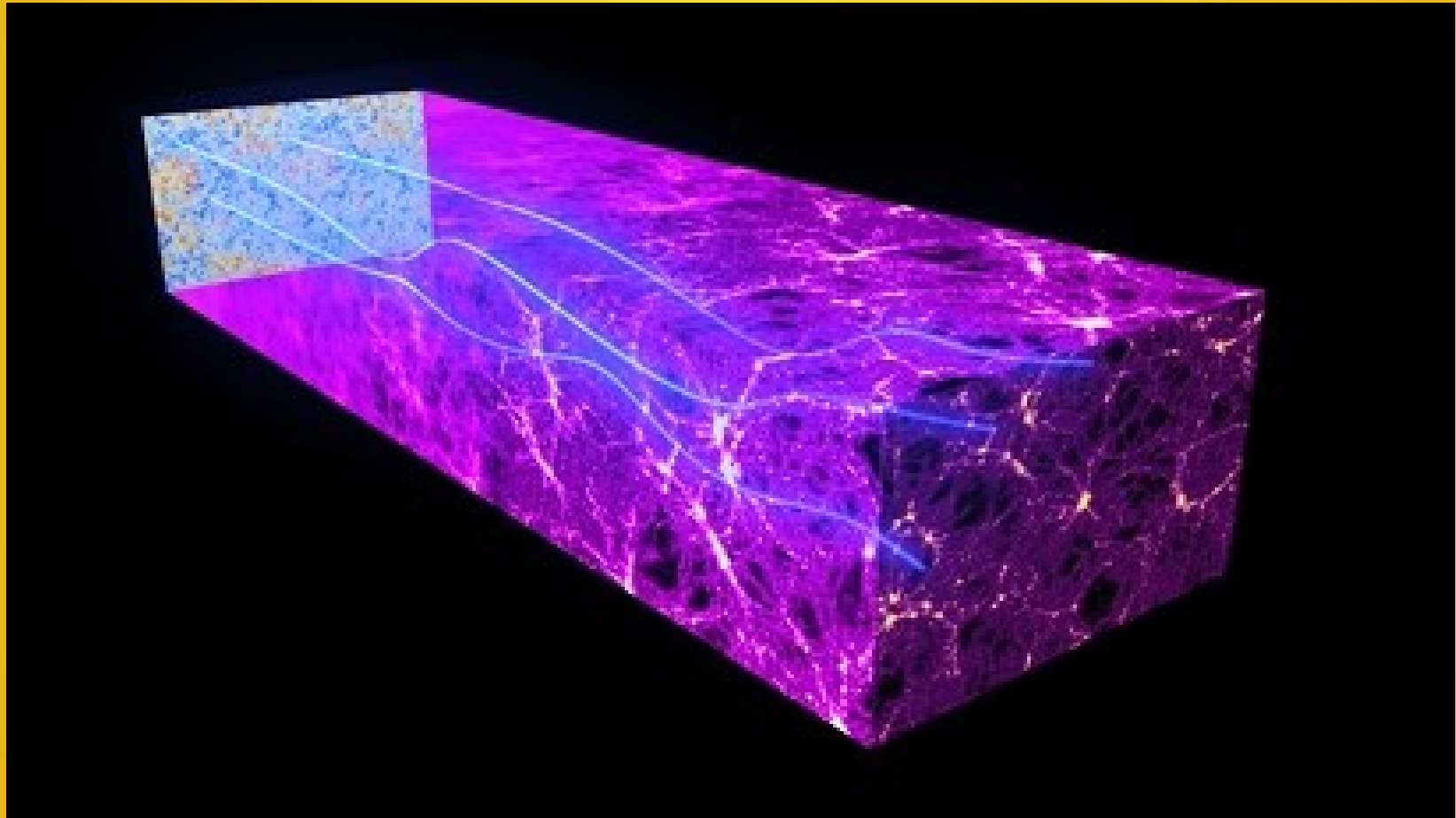
Los modos B pueden no ser primordiales.

Hay efectos que giran modos E en modos B en la época de la Recombinación o en la de Reionización:

Lentes gravitacionales

Campo Magnético (rotación de Faraday)

Con una sólo frecuencia no se elimina bien la emisión galáctica (ej. Emisión térmica del Polvo)



GW Battaner abril 2004

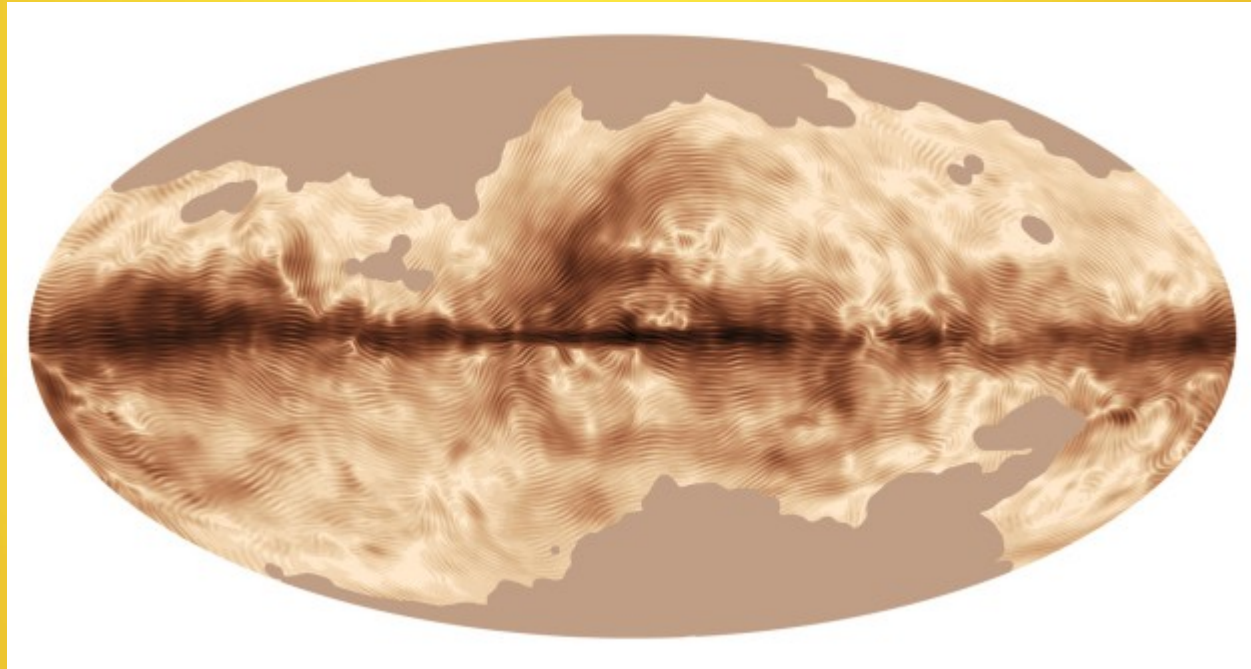
# Planck

Planck puede reforzar/cuestionar el descubrimiento.

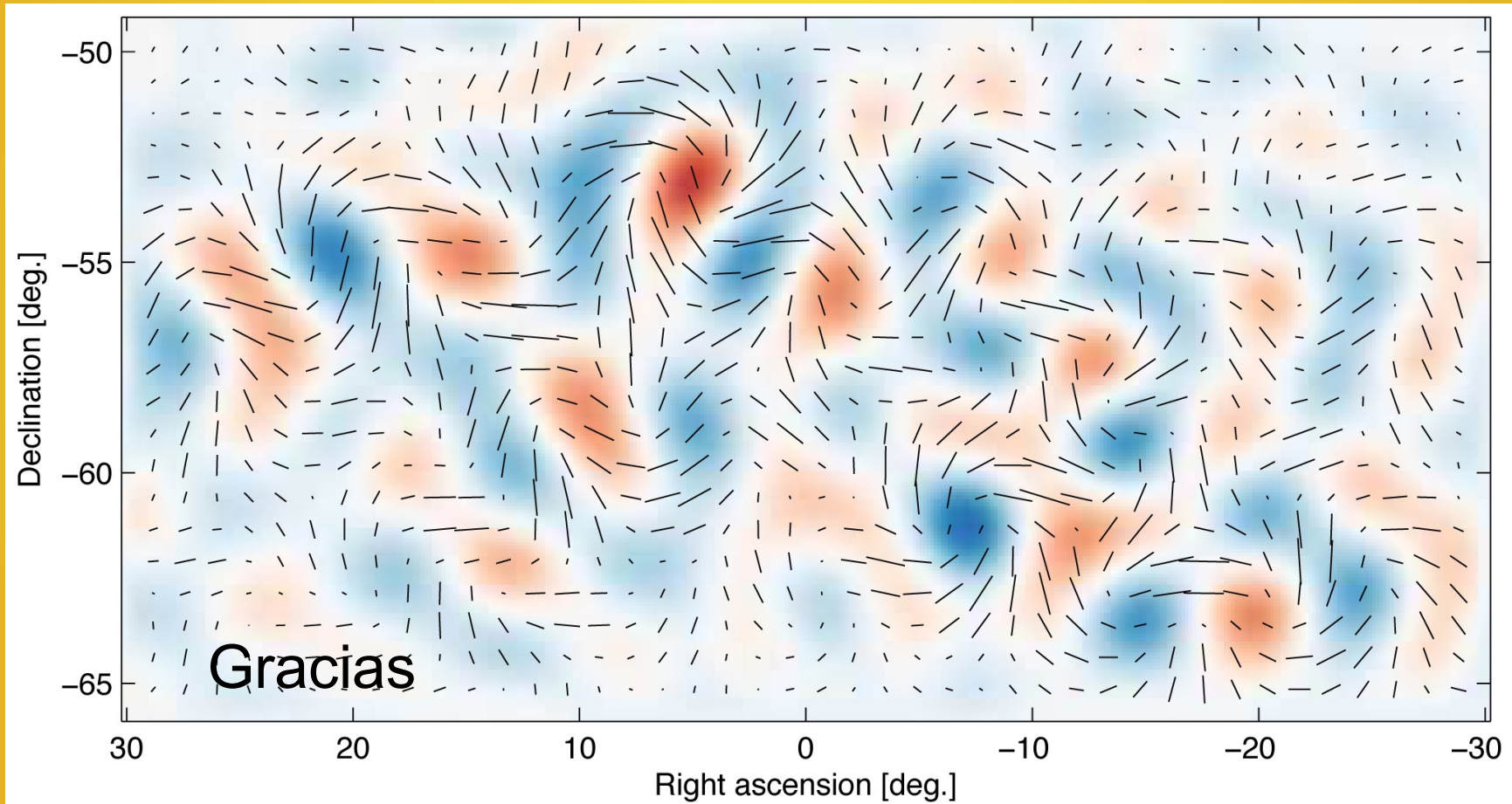
Los mejores datos de polarización en 9 rangos de frecuencias

Planck lo sabe... pero no lo dice...

# Vía Láctea en polarización



# Ondas gravitacionales



# Bicep2

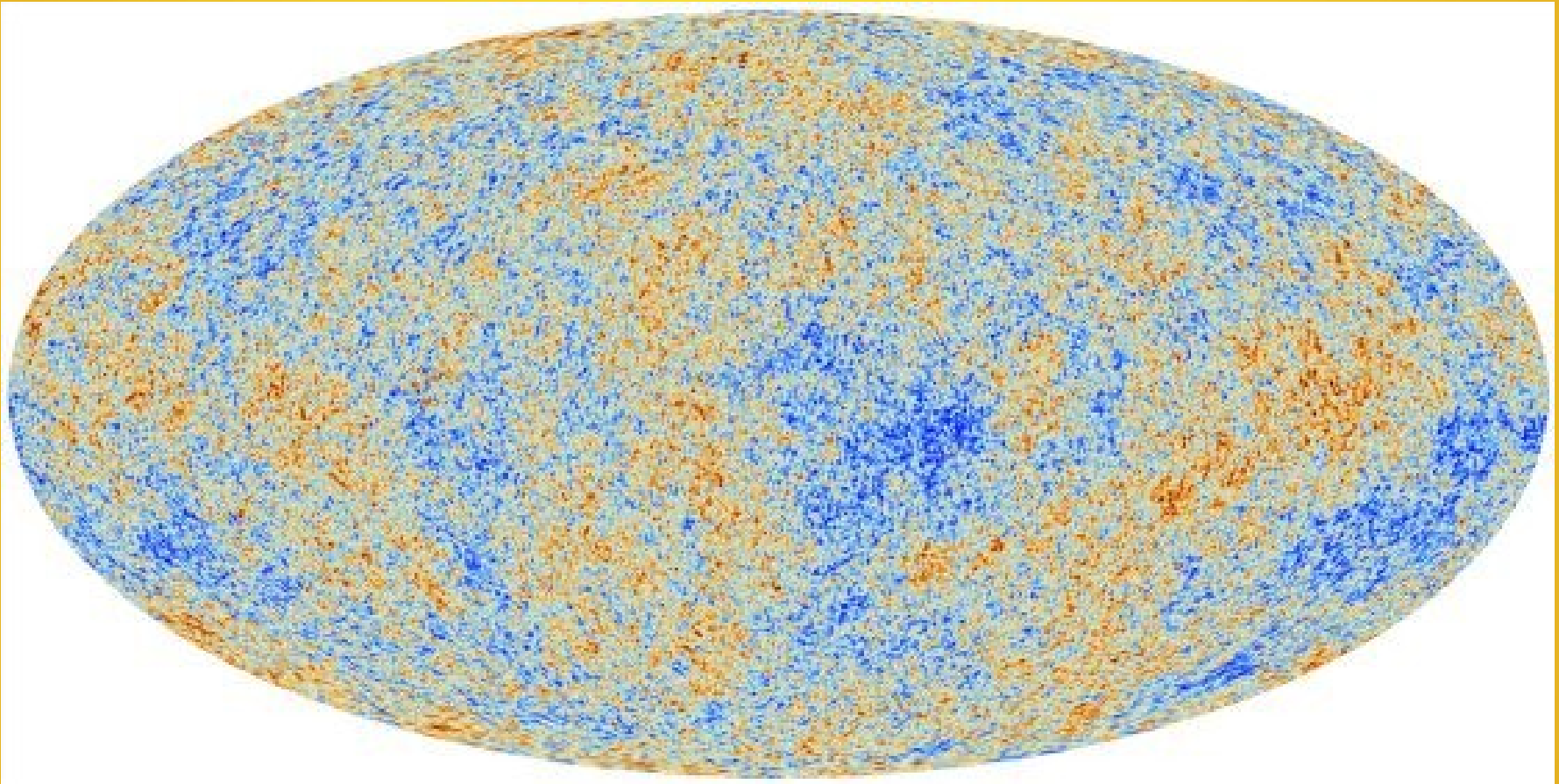


GW Battaner abril 2004

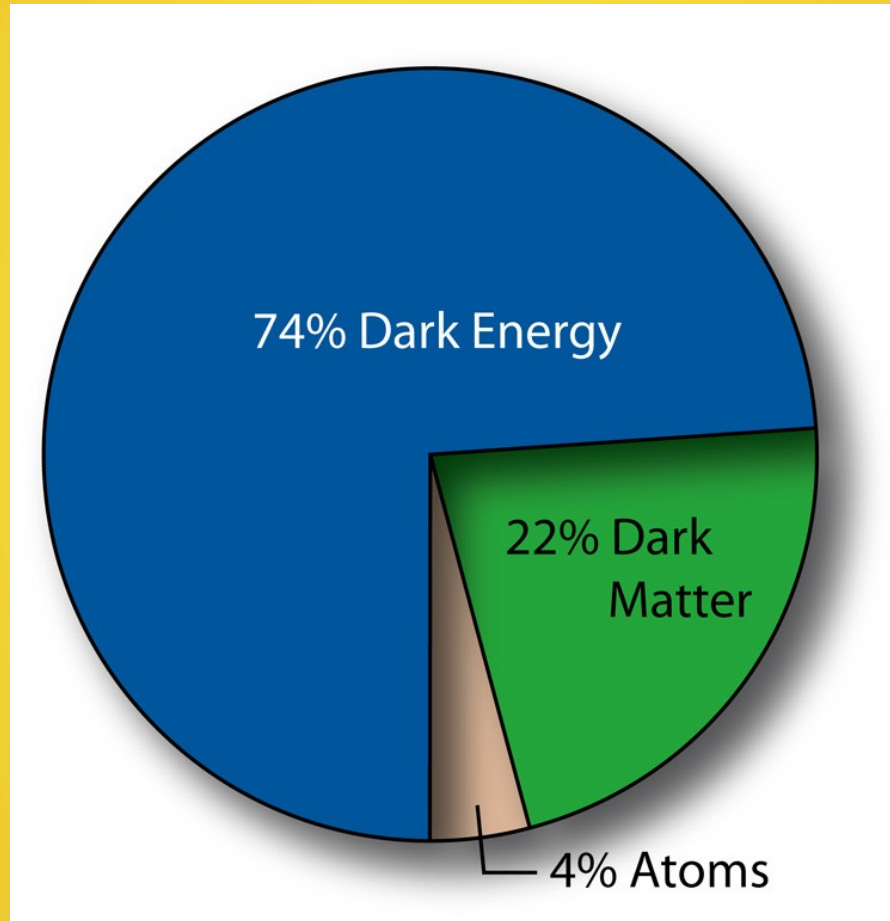
GW Battaner abril 2004

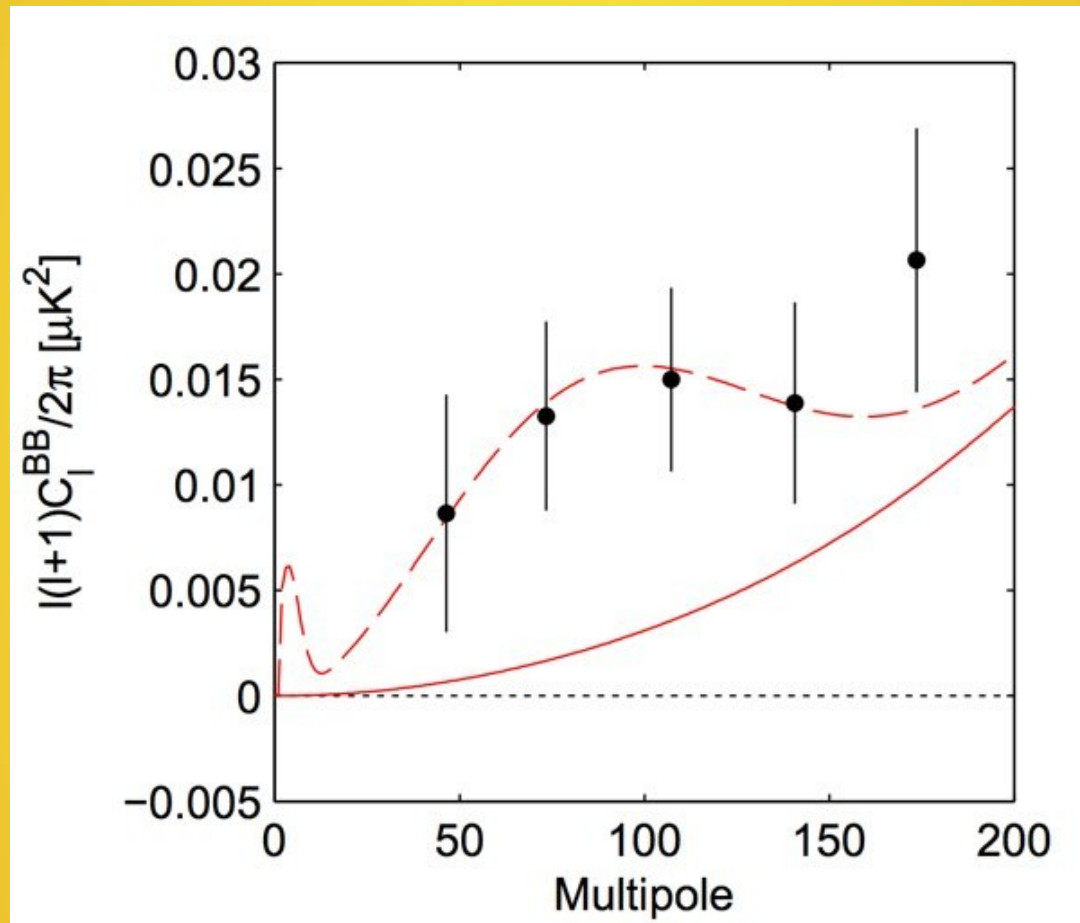


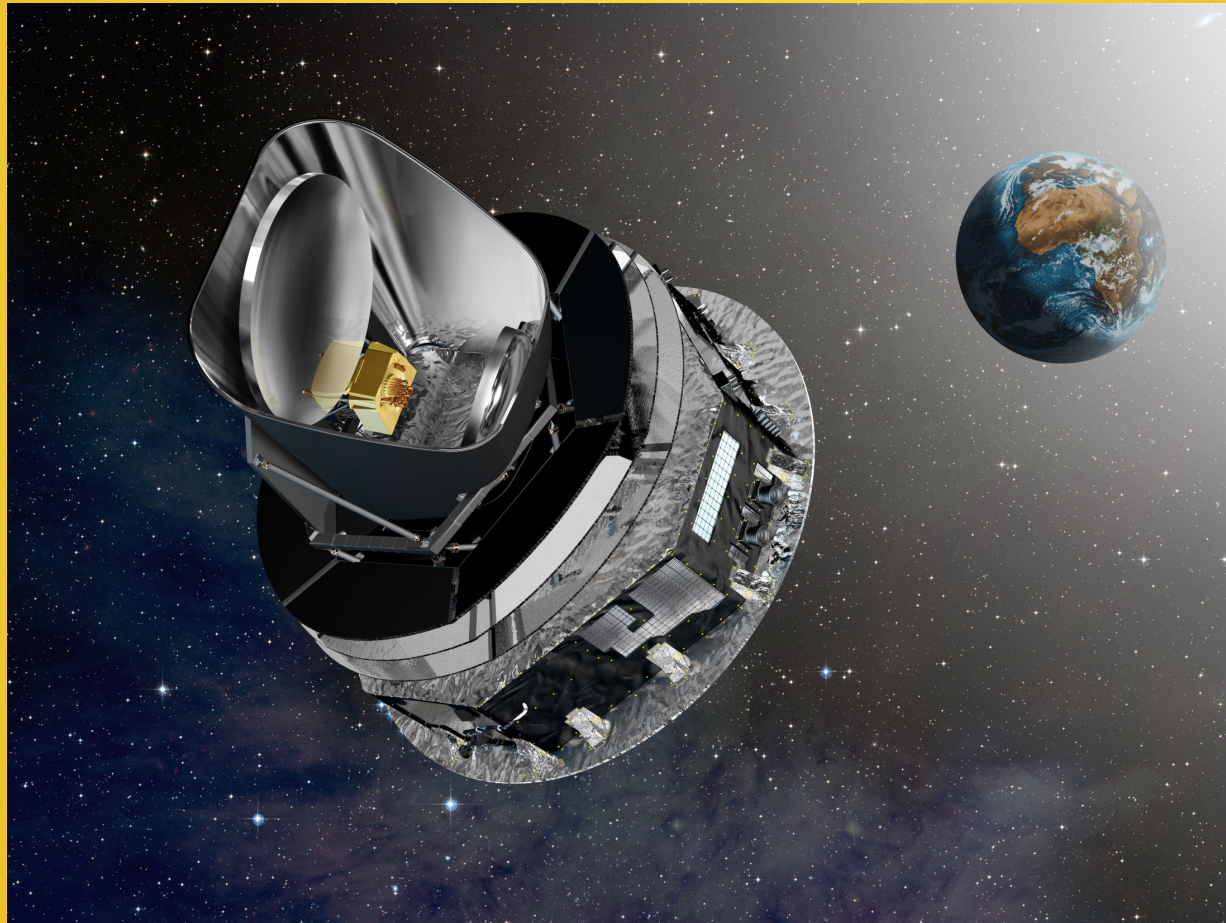
GW Battaner abril 2004



GW Battaner abril 2004







GW Battaner abril 2004

# Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

En el Universo actual, púlsares binarios, etc...

Aquí sólo hablamos de los primordiales

# ¿Qué son ondas gravitacionales?

En toda onda hay una magnitud física que oscila y la oscilación se propaga.

En el sonido, la presión.

En la luz, los campos eléctricos y magnéticos.

En las ondas gravitacionales...el tensor métrico

(las propiedades del espacio-tiempo)

(la curvatura del espacio-tiempo)

# Einstein

Las GW fueron predichas por Einstein.

Pero no se han detectado hasta...

¿el mes pasado?

Hay GW creadas en el “Universo presente”

Y hay GW creadas en la Inflación.

$10^{-35}$  segundos tras Big-Bang.



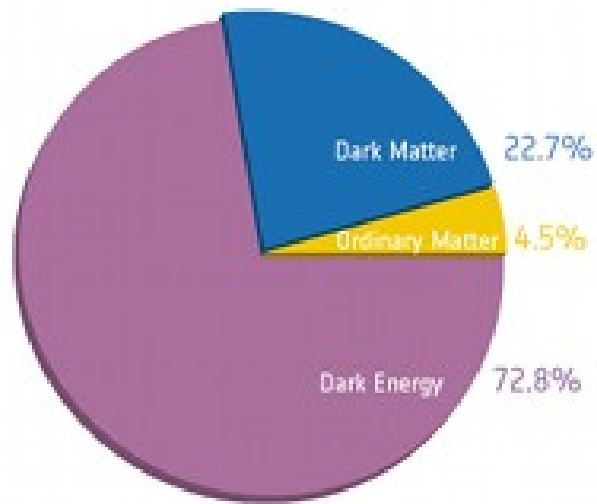
# Inflación

En el Universo primitivo hubo un momento de expansión muy rápida (exponencial)

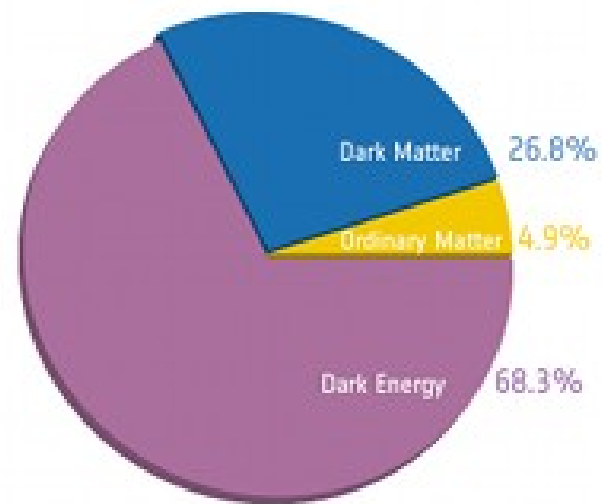
La Inflación explica por qué el Universo es plano y por qué es homogéneo.

Aunque hay muchas teorías inflacionarias.

Hubo oscilaciones cuánticas de densidad y de curvatura.



Before Planck



After Planck





GW Battaner abril 2004

# Planck (ESA)

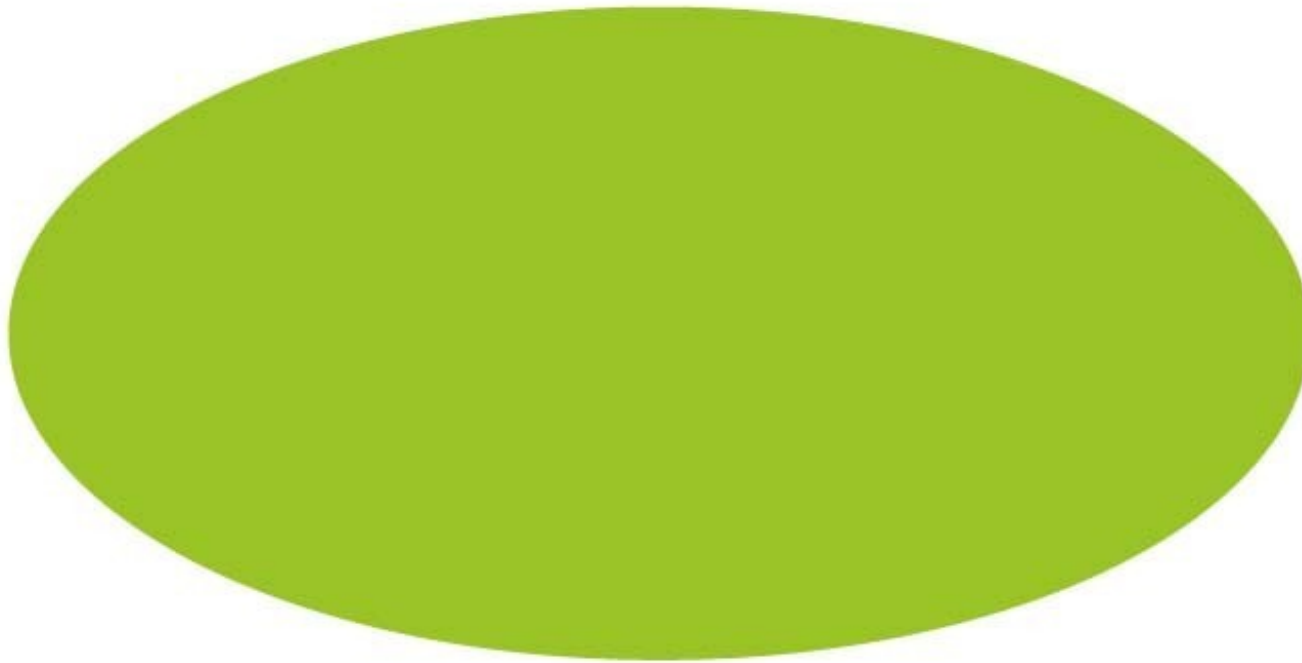
Lanzamiento: 2009

HFI murió en enero de 2012

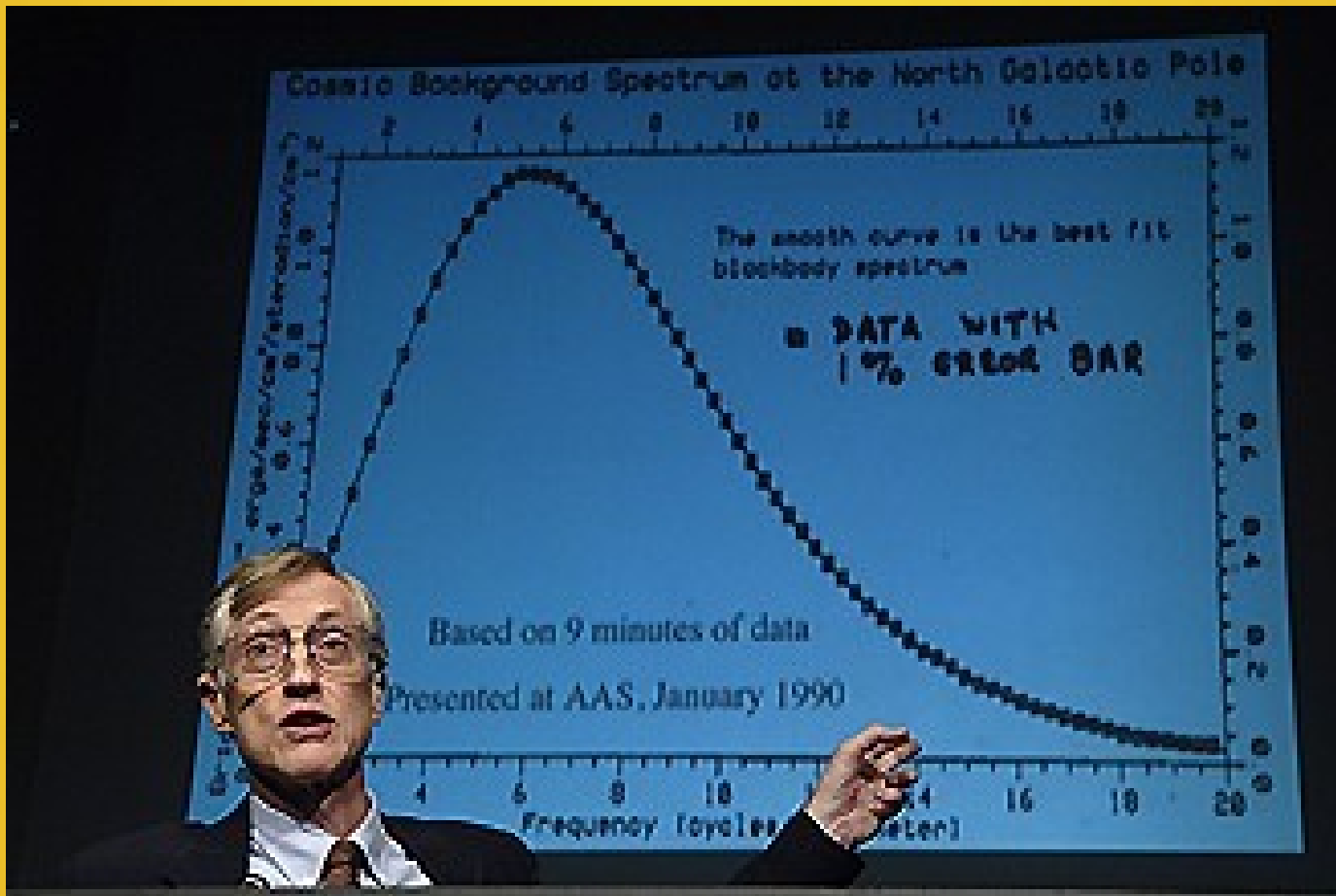
LFI murió en enero de 2013

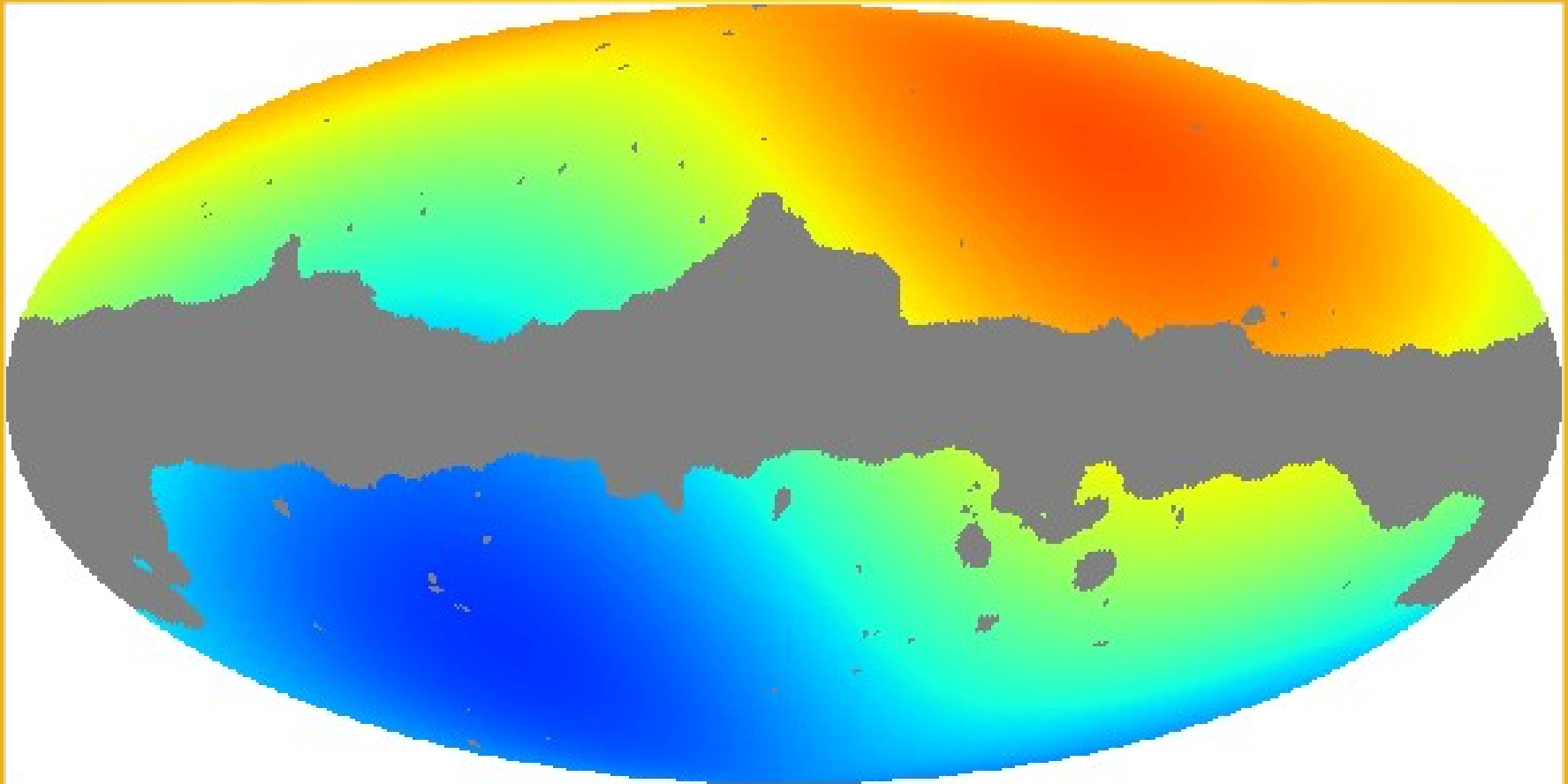
En marzo se publicaron “casi” todos los resultados cosmológicos

# **ISOTROPY OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND**



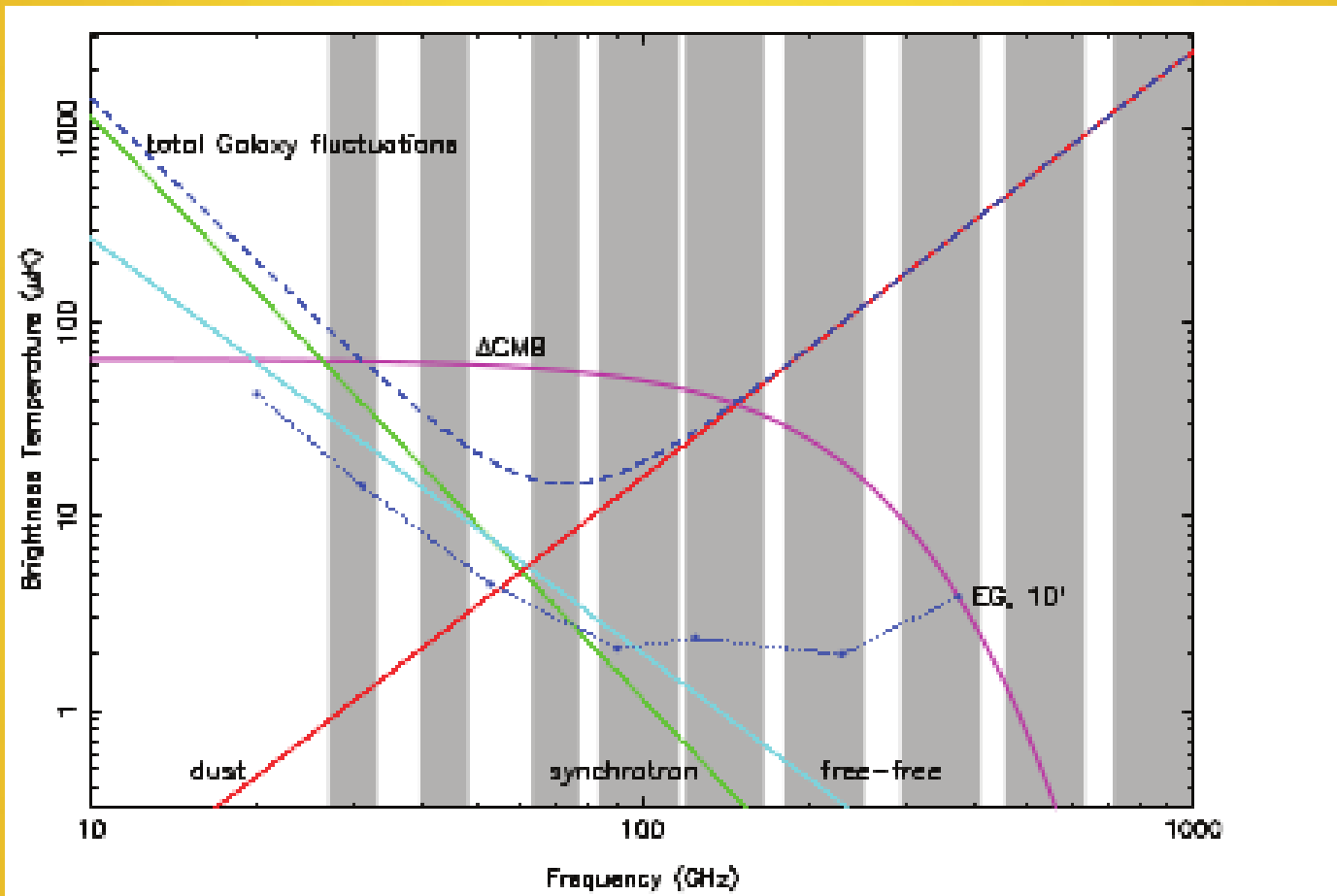
MAP990004





GW Battaner abril 2004

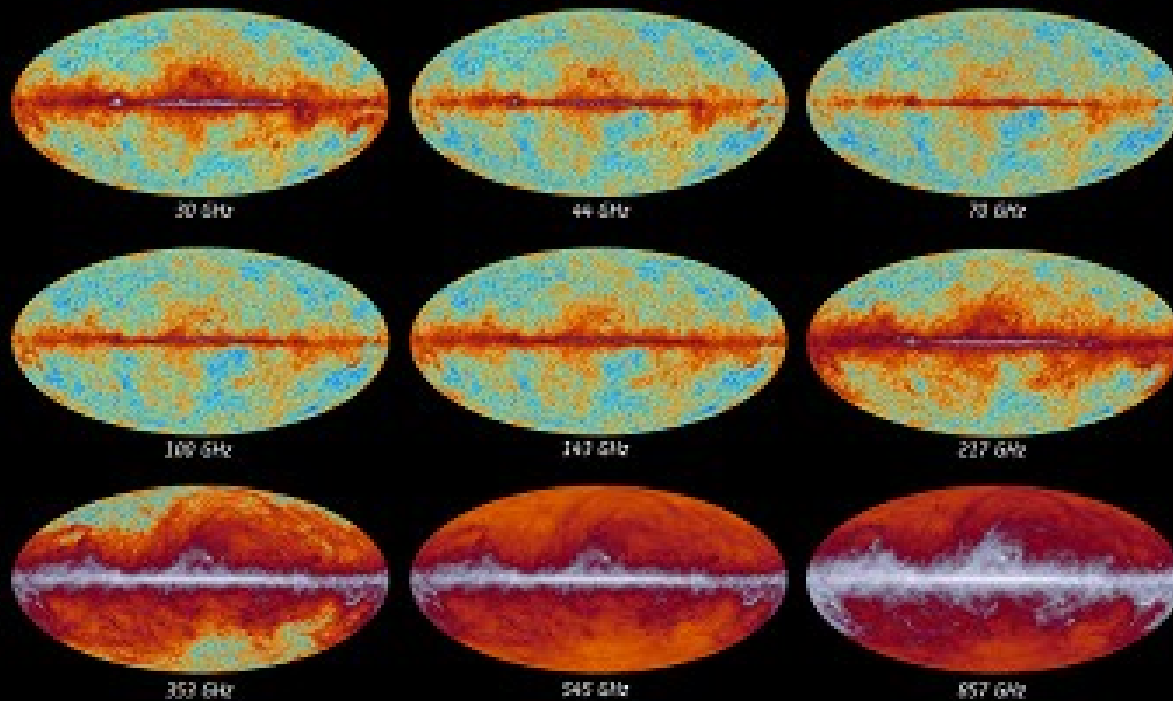






planck

# The sky as seen by Planck



# Conclusión básica

El Universo está dominado por la energía oscura

El Universo tiene grandes cantidades de materia oscura

La componente bariónica es muy pequeña

El Universo tiene curvatura cero

Vemos el sonido

...

...

El sonido de la luz

# El sonido

Observamos el sonido  
380.000 años tras el  
Big-Bang

# ¿Quién dijo...

Que las ondas de gravedad podrían observarse en la polarización del Fondo Cósmico de Microondas?

# ¿Quién dijo...

Que las ondas de gravedad podrían observarse en la polarización del Fondo Cósmico de Microondas?

M.V. Sazhin y N. Benítez

Astro. Lett. And Communications, 32, 105 (1995)

# Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

En el Universo actual, púlsares binarios, etc...

Aquí sólo hablamos de los primordiales



# Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

En el Universo actual, púlsares binarios, etc...

Aquí sólo hablamos de los primordiales

