

# LSS, Estructura a gran escala

## Capítulo V Astrofísica y Cosmología Fisymat

### Bibliografía:

Las grandes estructuras del Universo. E. Battaner. RBA

Astrophysical Fluid Dynamics. E. battaner. Cambridge Univ. Press.

# Escala

A escala del horizonte, el Universo es homogéneo, isótropo y plano.

1 Mpc. Galaxias y cúmulos.

10 Mpc. Supercúmulos.

100 Mpc. Filamentos

1000 Mpc. CMB

# Nuestra dirección postal

Estructuras cada vez más complejas.

El Grupo Local ---> Cúmulo de Virgo --->  
Laniakea ---> Filamento local

El Universo imperfecto.

# Información

Visible

Rayos X

Sunyaev-Zeldovich

Lentes gravitacionales

Bosque de lentes gravitacionales.

Sachs-Wolfe integrado.

Radio

# G. Bruno

G. Bruno (Nola, España, 1548 – Roma, 1600)

Dominico (1585 – 1579)

“La cena de le ceneri” y “Del infinito Universo e mondi”

Universo infinito sin bordes y sin centro.

Condenado a ser quemado vivo por “herético, impenitente, pertinaz y obstinado”. También por la infinitud del Universo y la pluralidad de mundos habitados.

# Kepler no lo aceptó

Las estrellas tenían un grosor angular de 1'.  
Las estrellas debían de ser más grandes  
cuanto más lejos.

Pero... 1' es la resolución angular del ojo humano.

Geocentrismo ---> heliocentrismo --->  
acentrismo

# Antecedentes del Big-Bang

“...Entonces la materia, perdida su energía en éter luminoso se habrá ya degradado y nosotros y las obras de toda nuestra vida volaremos en ondas por el éter alados en esferas crecientes, por los cielos sin vida, más allá del Sol muerto. Hacia espacios helados...”

# ¿Quién dijo esto?

- Nada había antes del Universo. De repente, la creación apareció como una minúscula partícula del tamaño de un grano de mostaza, que contenía toda la sustancia origen de todo lo demás. Esa sustancia inmaterial se expandió para convertirse en la materia tal como la conocemos. Una vez que ésta se ha formado de aquella es cuando el tiempo, que ya estaba creado, se hace perceptible.



# Nahman

Mosé ben Nahmán (Nahmánides)

Gerona 1194 – Acre (Palestina) 1270

Filósofo, poeta, cabalista. Expulsado de Gerona emigró a Jerusalén.

Líder de los pietistas, opuestos a Maimónides (aunque éste es anterior). Defendía la revelación frente a la razón.

Personaje en “El astrónomo y el templario”

# Época oscura

Desde el CMB ( $z=1100$ ) hasta la Reionización ( $z=10$ )



# Cúmulos de galaxias

El objeto autogravitante más grande.

Materia oscura = 10 veces masa de gas  
intergaláctico = 100 masa en galaxias

# Catálogos

Messier: 103 nébulas, 1784. M.

W. y C. Herschel, 1000 nébulas, 1786.

J. Herschel, 5000 nébulas, General Catalogue of nebulae.

J. Dreyer, New General Catalogue of nebulae, NGC. 1888. + IC.

Pero...¿qué era una galaxia?

# El Grupo Local

M31, M33, las Nubes de Magallanes.

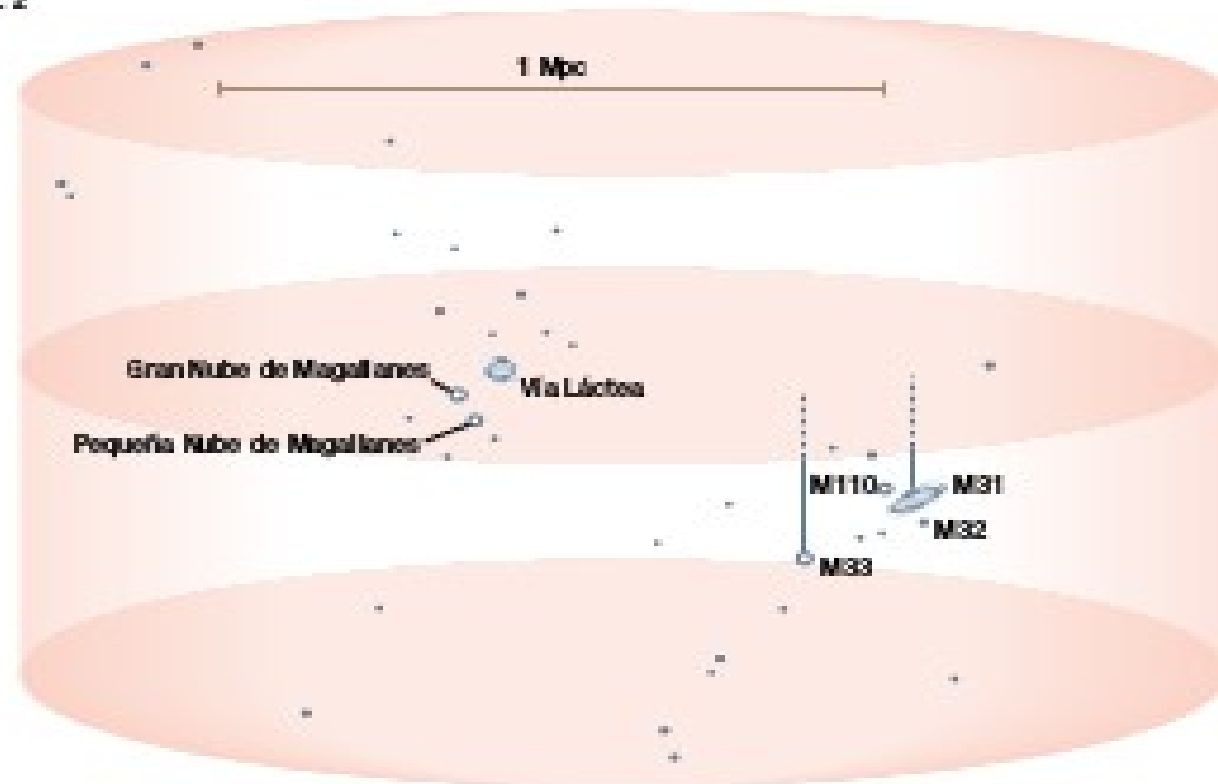
1994. Sagitario. En la zona de oscurecimiento.

Can Mayor a 7.6 kpc.

La corriente de Magallanes.

Las galaxias, como las mariposas, salen en primavera.

FIG. 2



Representación del Grupo Local. Los puntos son galaxias enanas. Solo se especifican los nombres de las galaxias más conocidas.

Nombre	Ascensión recta (horas / minutos)	Declinación (° ' ")	Tipo	Magnitud	Magnitud absoluta	Distancia (kpc)
Vía Láctea			SBbc		-20,5	0
M31	00 43	41 16	Sb	4,33	-20,3	650
M33	01 34	30 39	Sc	6,19	-18,5	740
LMC	05 24	-69 45	Ir	0,86	-17,8	50
SMC	00 53	-72 49	Ir	2,86	-16,2	60
NGC 205	00 40	41 41	E5	8,89	-15,8	650
M32	00 43	40 52	E2	9,06	-15,6	650
NGC 6822	19 45	-14 48	Ir	9,21	-15,3	520
NGC 185	00 39	48 20	E0	10,29	-14,4	650
NGC 1613	01 05	02 07	Ir	10,00	-14,4	740
NGC 147	00 33	48 30	dE4	10,57	-14,1	650



# El Concilios de Gigantes

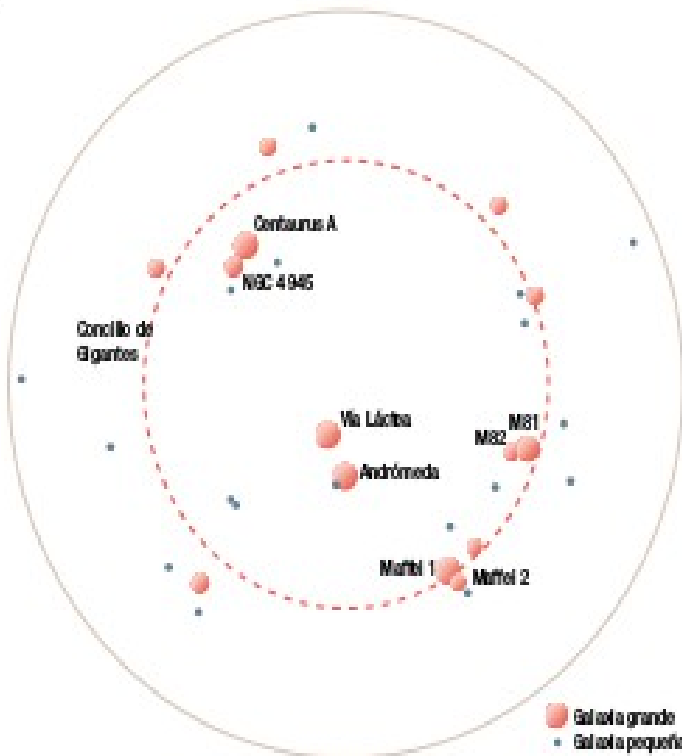
Anillo de numerosas galaxias, 14 gigantes.

Espesor 0.5 Mpc. Radio 3 Mpc.

El GL casi en el centro.

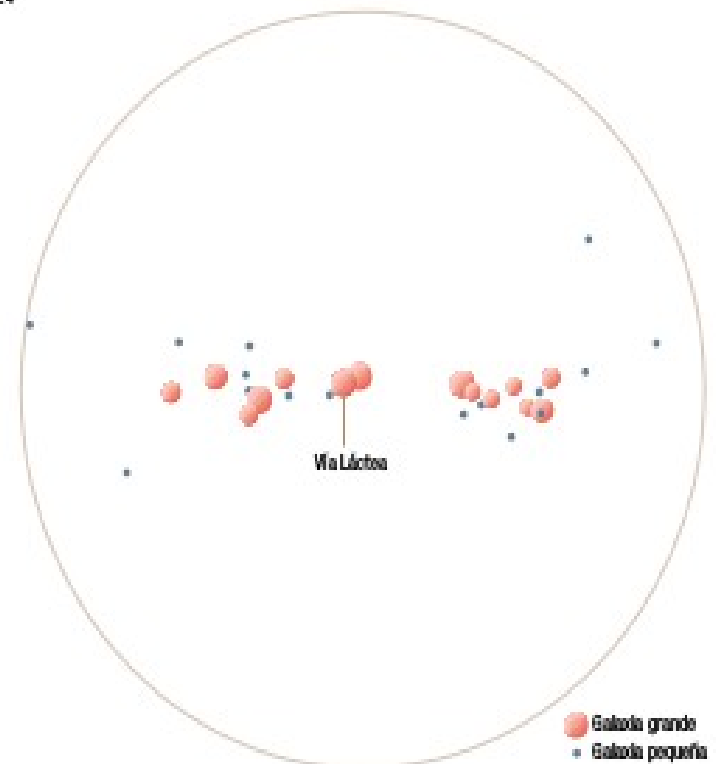
Maffei 1 y Centaurus A

FIG. 3



El Conchillo de Gigantes y su entorno inmediato vistos desde «arriba». Se indican algunas de las galaxias más importantes.

FIG. 4



El Conchillo de Gigantes y su entorno inmediato vistos «de lado». Esta perspectiva permite apreciar que las galaxias del Conchillo se encuentran prácticamente en el mismo plano.

# Cúmulos

Es gas... con algunas galaxias

Masa gaseosa 5 veces la masa galáctica

$10^8$  K, rayos X. Distribución difusa.

Simetría esférica,  $r^{-2}$  (perfil isoterma). Equilibrio virial.

# Visible

1958, catálogo de Abell. 2400 cúmulos. A.

1989, 4000 cúmulos.

30-300 galaxias. 2-3 Mpc. Velocidades 400-1400 km/s.

Virgo: a 20 Mpc, 1300 galaxias. M87, M49.

Coma (A1656) en polo norte galáctico. 1000 galaxias.  
A 100 Mpc,  $z=0.231$ .

Las espirales más en la periferia.

- En el centro las galaxias cD.

# Rayos X

10 kV.

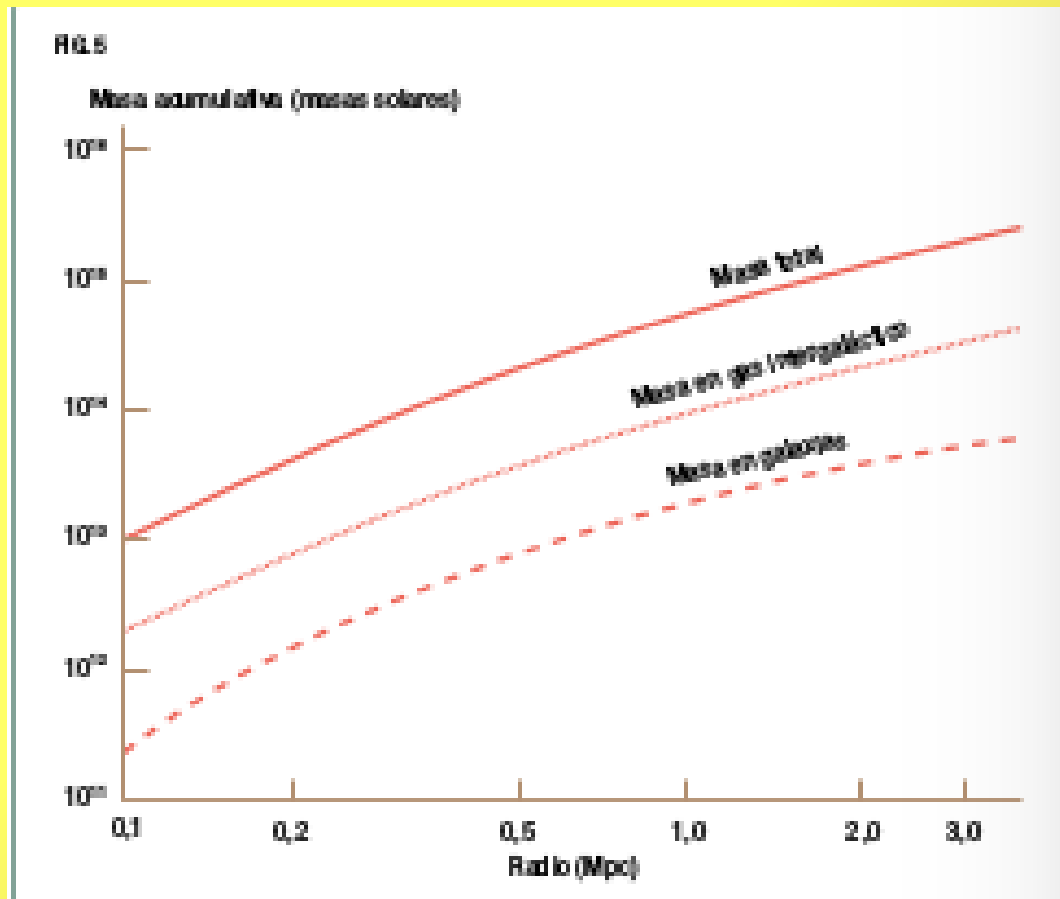
Free-free, radiación de enfrenamiento,  
Bremsstrahlung.

Proporcional a  $n_e^2$ . Obtenemos la masa  
bariónica.

La variación de la presión nos da la masa total.

Sabemos así la distribución de masa, tanto  
visible como oscura.

# Masa acumulativa



# Flujo de enfriamiento

“Cooling flow”

La radiación de enfrenamiento enfría, especialmente las regiones centrales.

La bajada de presión es compensada por este flujo hacia el centro.

A478: unas 700 masas solares por año.

# Masa/luminosidad

$$M/L = 400$$

(M/L en galaxias =30)

Insuficiente para “cerrar” el Universo.

$$M/L = 2200$$

(M y L en unidades del Sol)



# Efecto Sunyaev-Zeldovich

Los fotones del CMB interactúan con los electrones del medio intergaláctico.

Deforman el cuerpo negro.

De la deformación obtenemos información.

SZ térmico y SZ cinético.

- En el SZ térmico la deformación se caracteriza por el parámetro de Compton “ $y$ ”.
- Con el SZ cinético apreciamos velocidades (“bulk velocities?”)

# SZ térmico

$$\sigma_T = \frac{8\pi}{3} r_0^2 = 6.67 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$$

$$r_0 = \frac{e^2}{4\pi m_e c^2} = 2.82 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{1}{\sigma_T n_e}$$

# Comptonización

Rayleigh-Jeans:

$$u(\nu) = 8 \pi \nu^2 c^{-3} kT$$

Wien:

$$u(\nu) = 8 \pi h \nu^3 c^{-3} e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

# Parámetro de Compton

$$x = \frac{h\nu}{kT_\gamma}$$

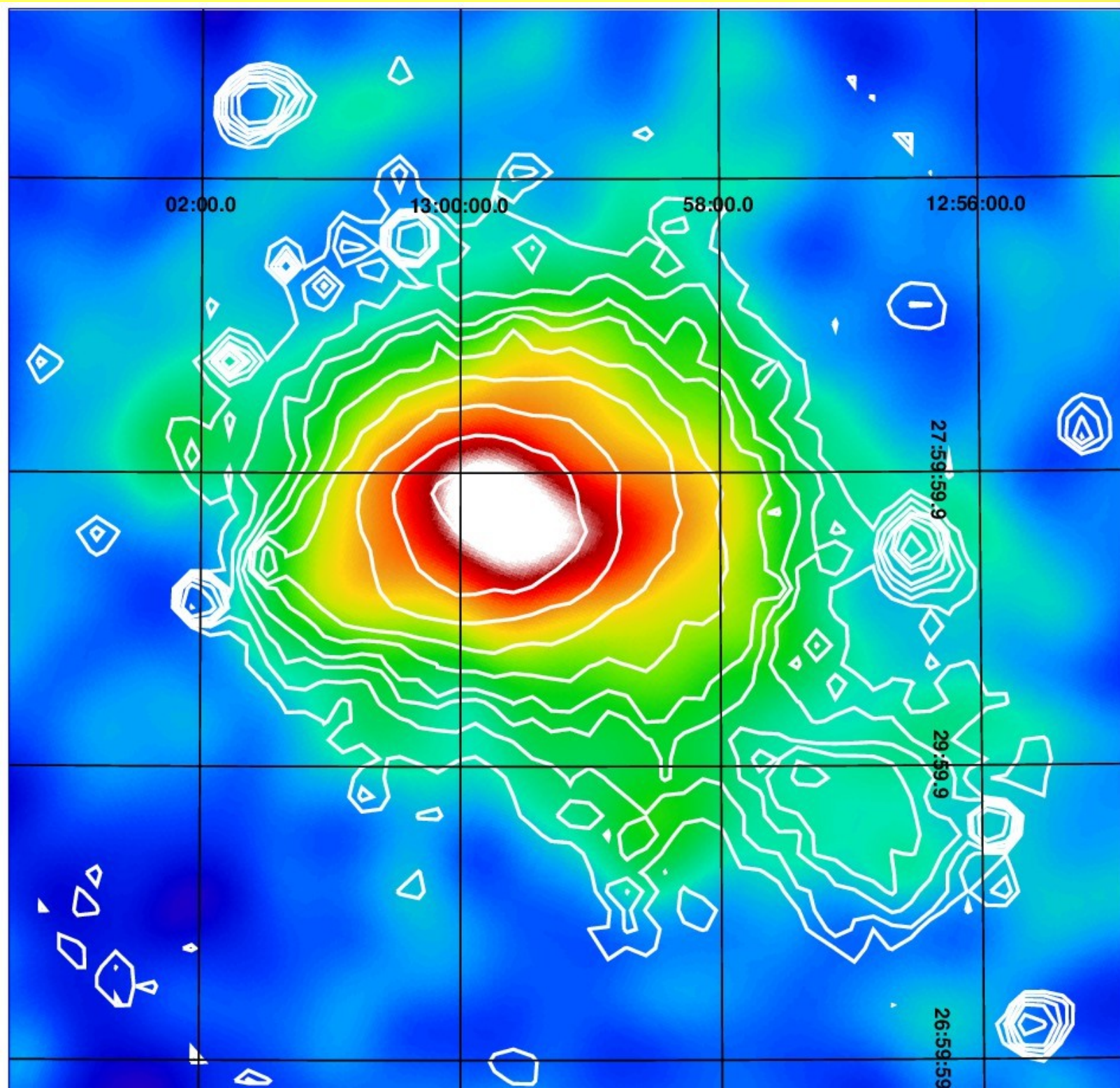
$$y = \int \frac{k(T_e - T_\gamma)}{m_e c^2} d\tau \approx \int \frac{kT_e}{m_e c^2} d\tau \approx \frac{kT}{mc^2} \sigma_T \langle n_e \rangle L$$

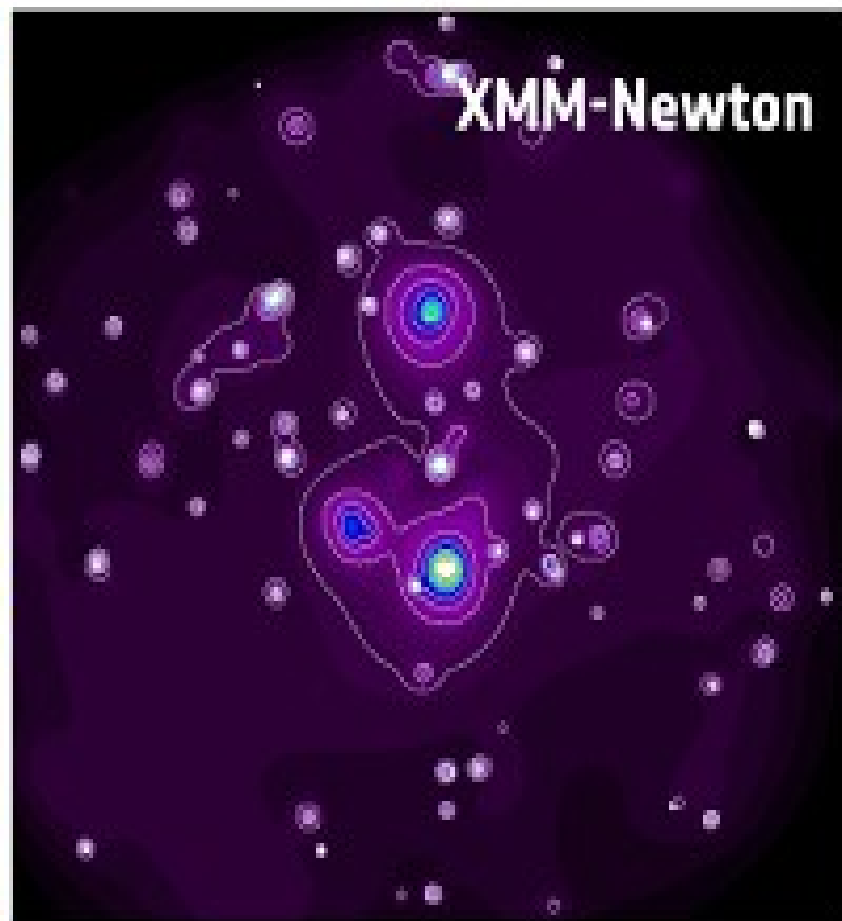
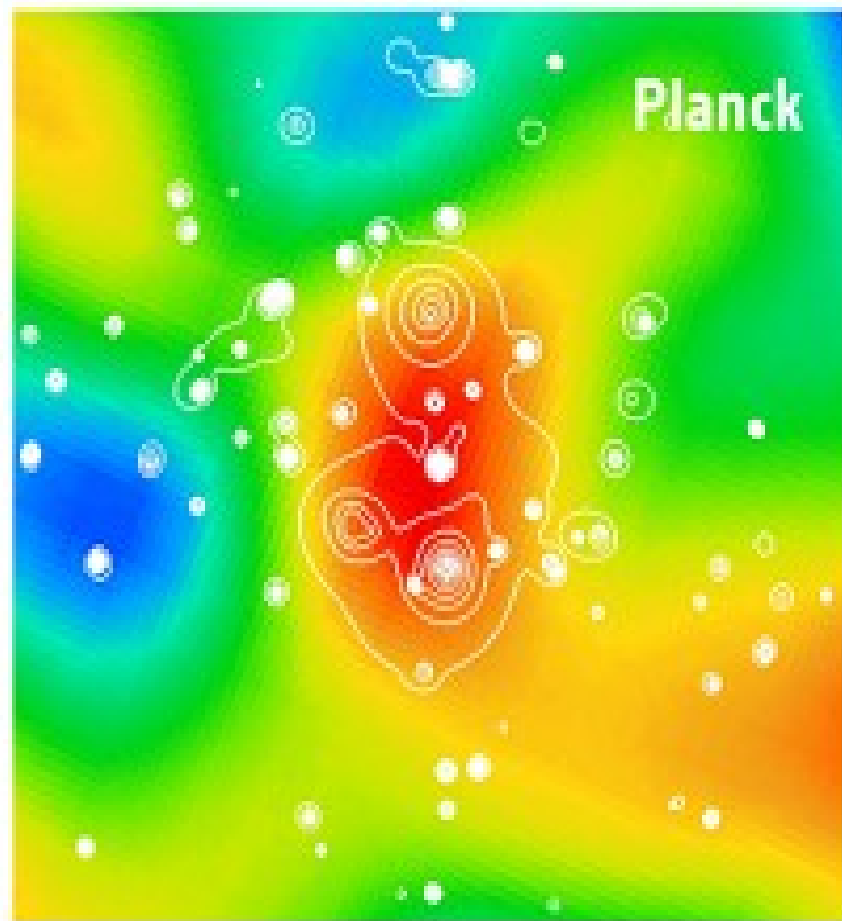
$$d\tau = n_e \sigma_T c dt$$

$$\frac{\delta T}{T}(x) = y \left( x \frac{e^x + 1}{e^x - 1} - 4 \right)$$

$$\left( \frac{\delta T}{T} \right)_{RJ} = -2y$$

$$\left( \frac{\delta T}{T} \right)_W = yx$$





# Radio

La radiación sincrotrón

+

Rotación de Faraday

Determinamos el campo magnético



# Lentes gravitacionales

La papelera de Einstein: Las lentes estelares producen un efecto despreciable.

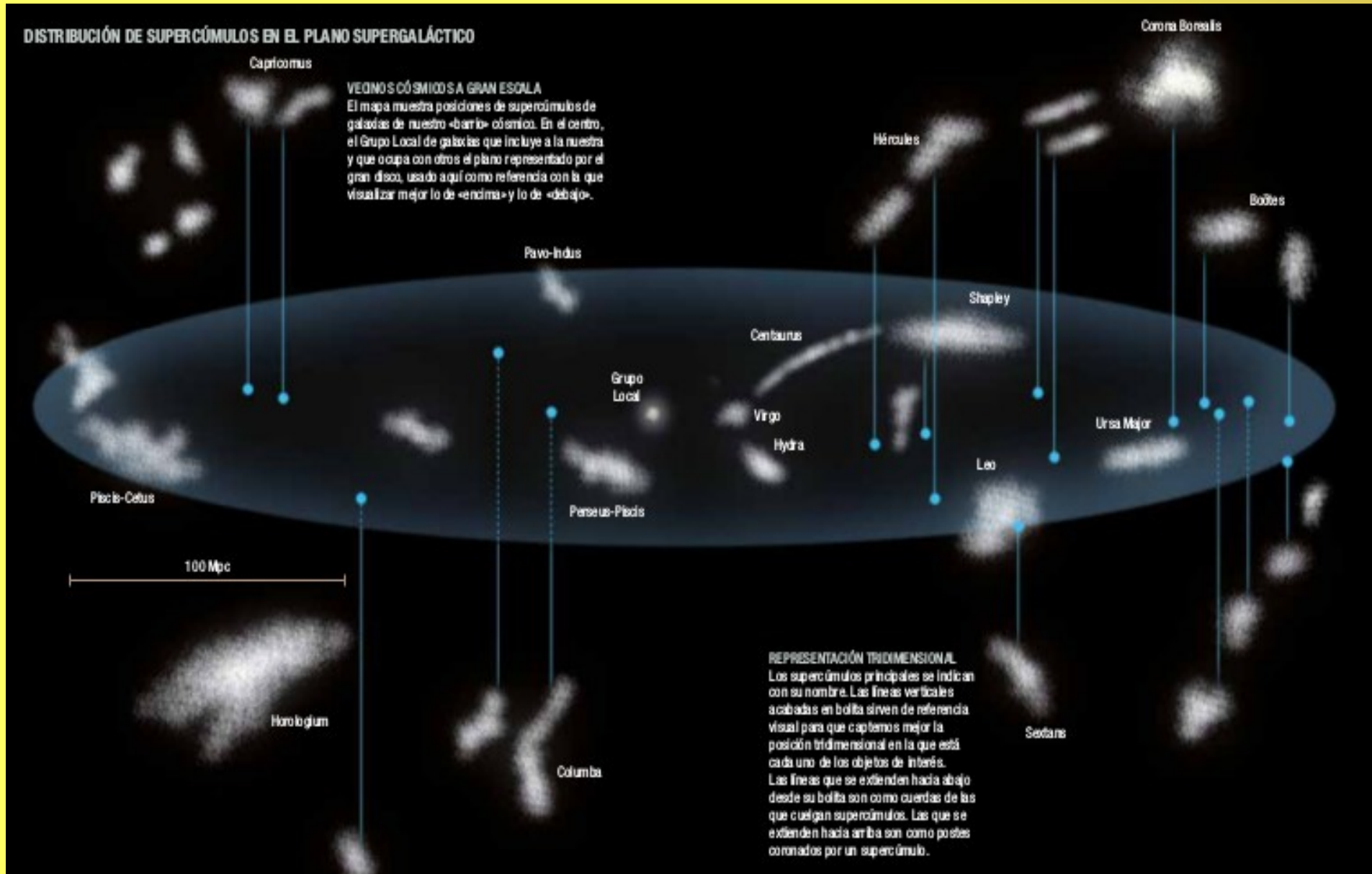
Pero Zwicky (1937) pensó en un cúmulo de galaxias.

42 años después se descubrió la primera GL

# Anillo de Einstein

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_L D_S}}$$

# Supercúmulos vecinos



# Supercúmulos

Algunos cúmulos se agrupan en supercúmulos

Galaxia: densidad un millón de veces más densa que la media del Universo.

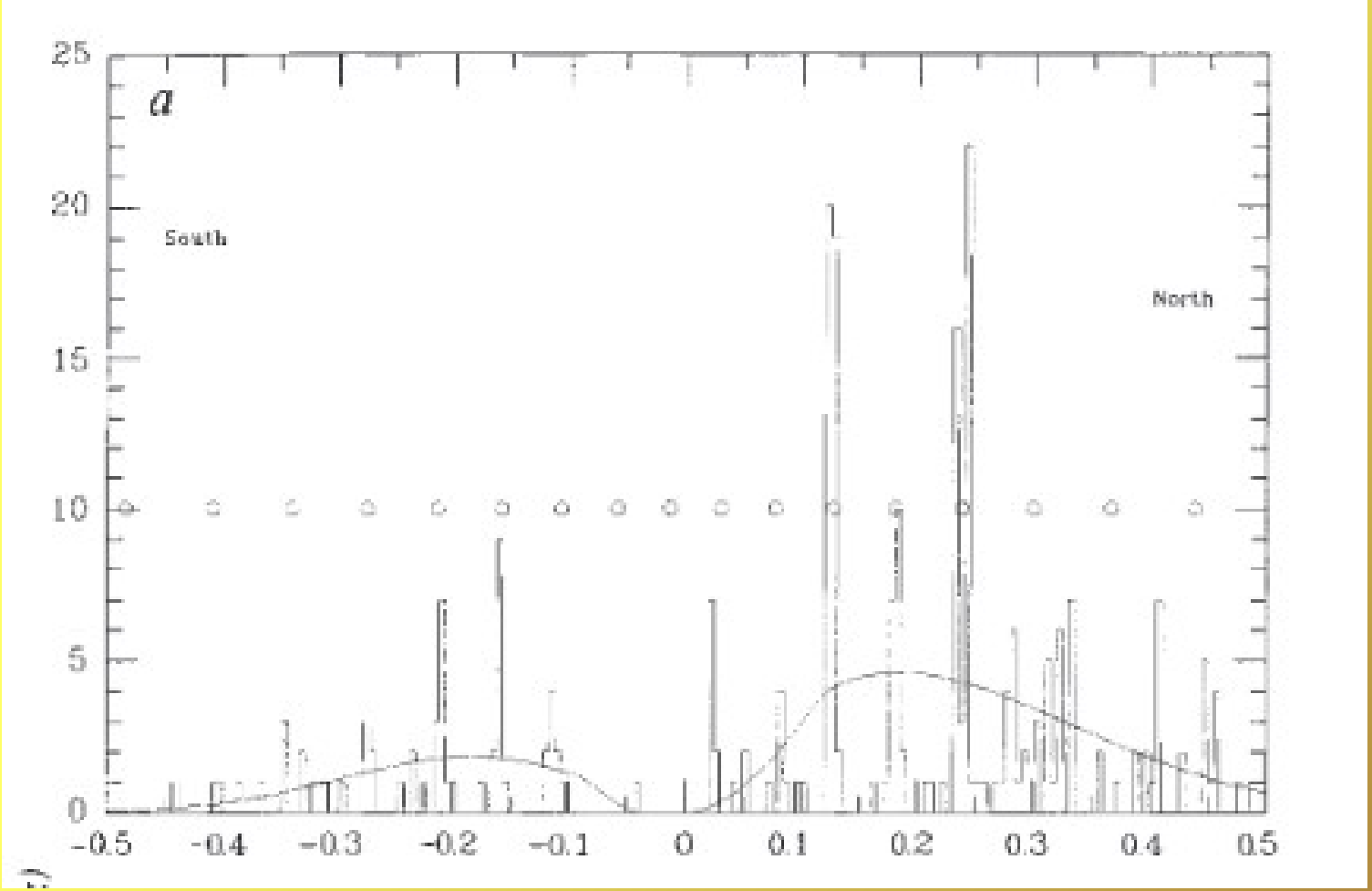
Un cúmulo, 10000 veces más.

Un supercúmulo, 10 veces más.

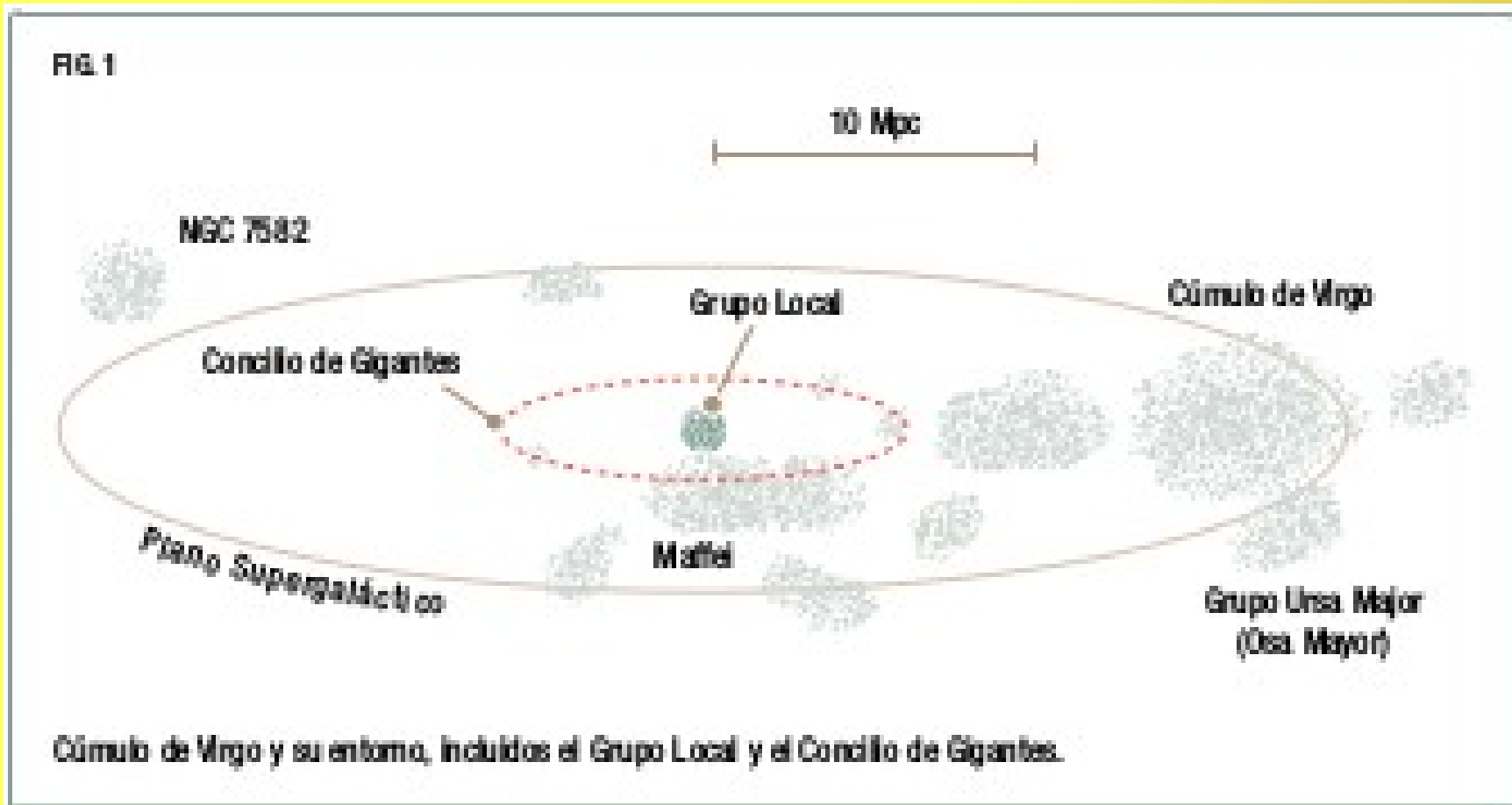
- Las estructuras más grandes son más recientes

# Propiedades

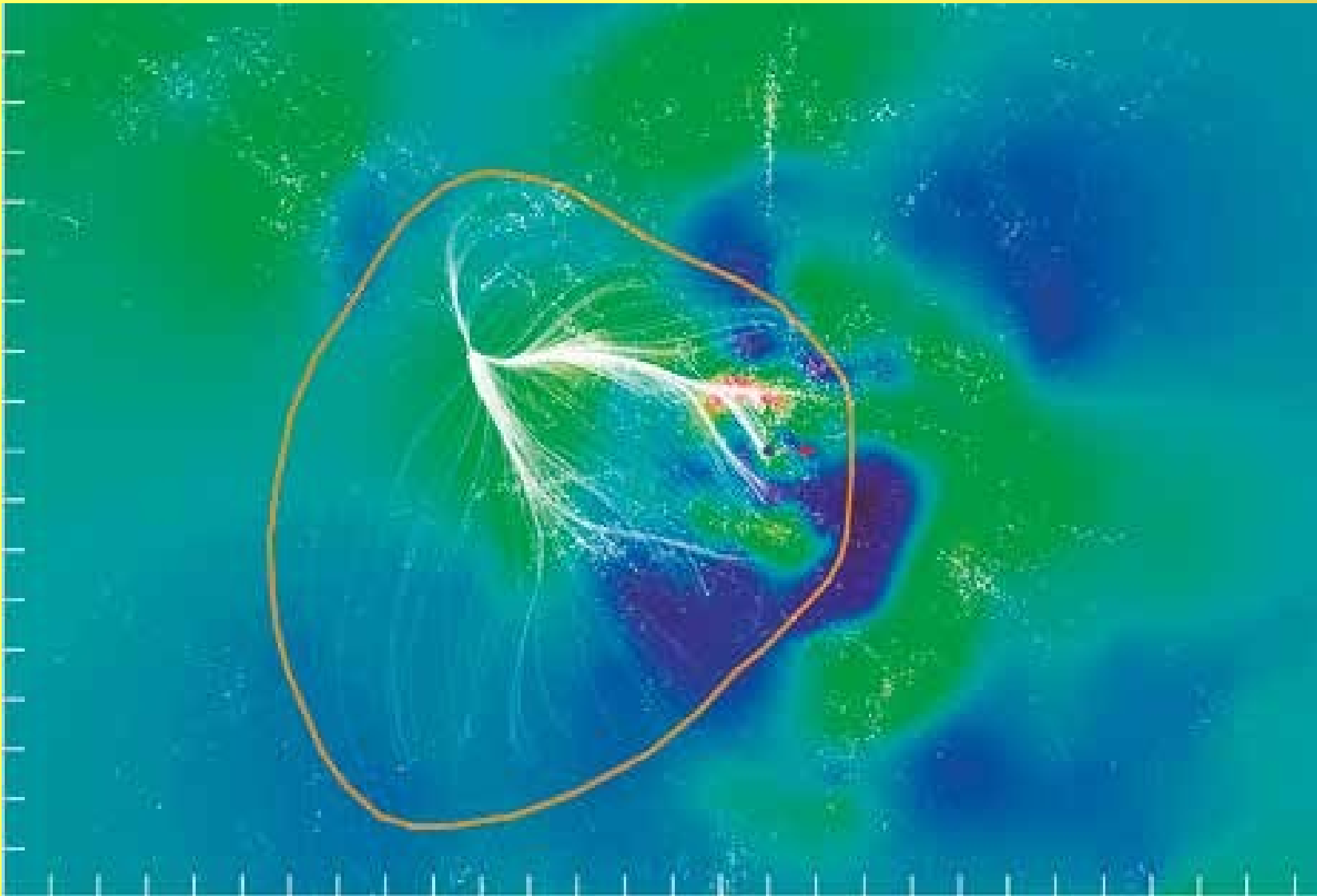
Densidad de supercúmulos	300 Gpc <sup>-3</sup>
Número de cúmulos por supercúmulo	2-15
Fracción de cúmulos en supercúmulos	50 %
Tamaño del supercúmulo más grande	200 Mpc
Volumen de espacio ocupado por supercúmulos	3 %
Separación típica entre supercúmulos	130 Mpc



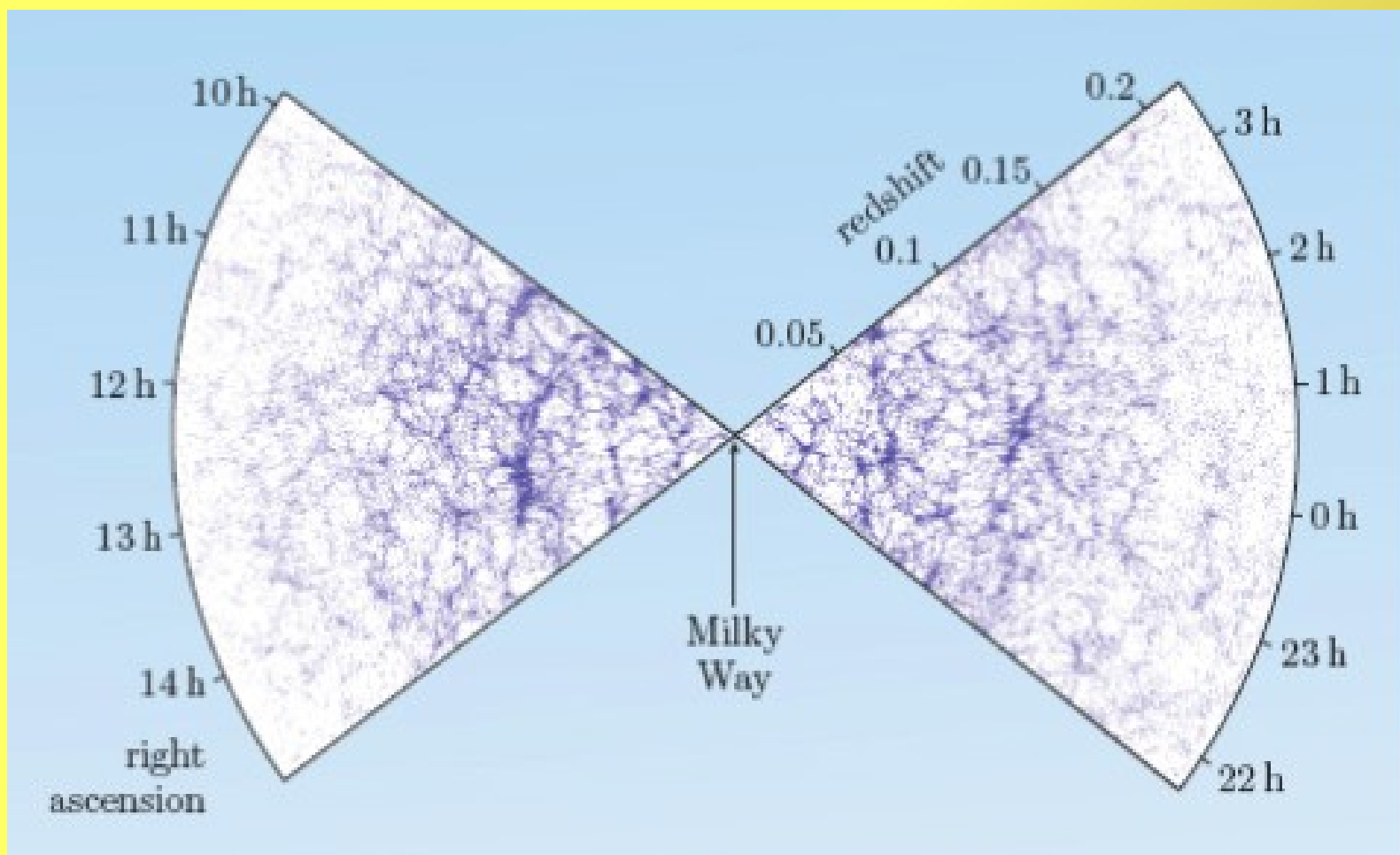
# Vecindad del LG

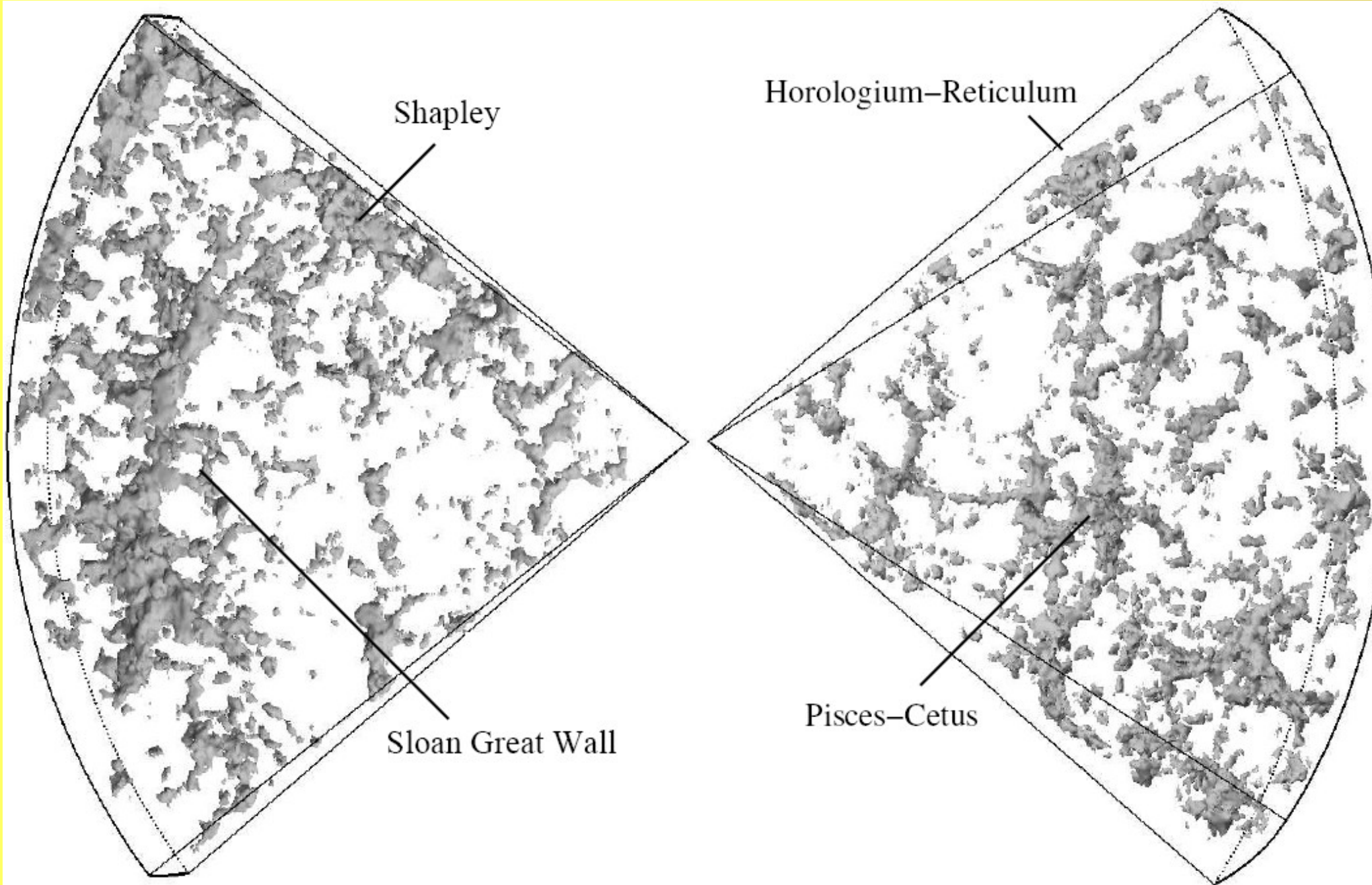


# Laniakea









# Bosques de Ly-alpha

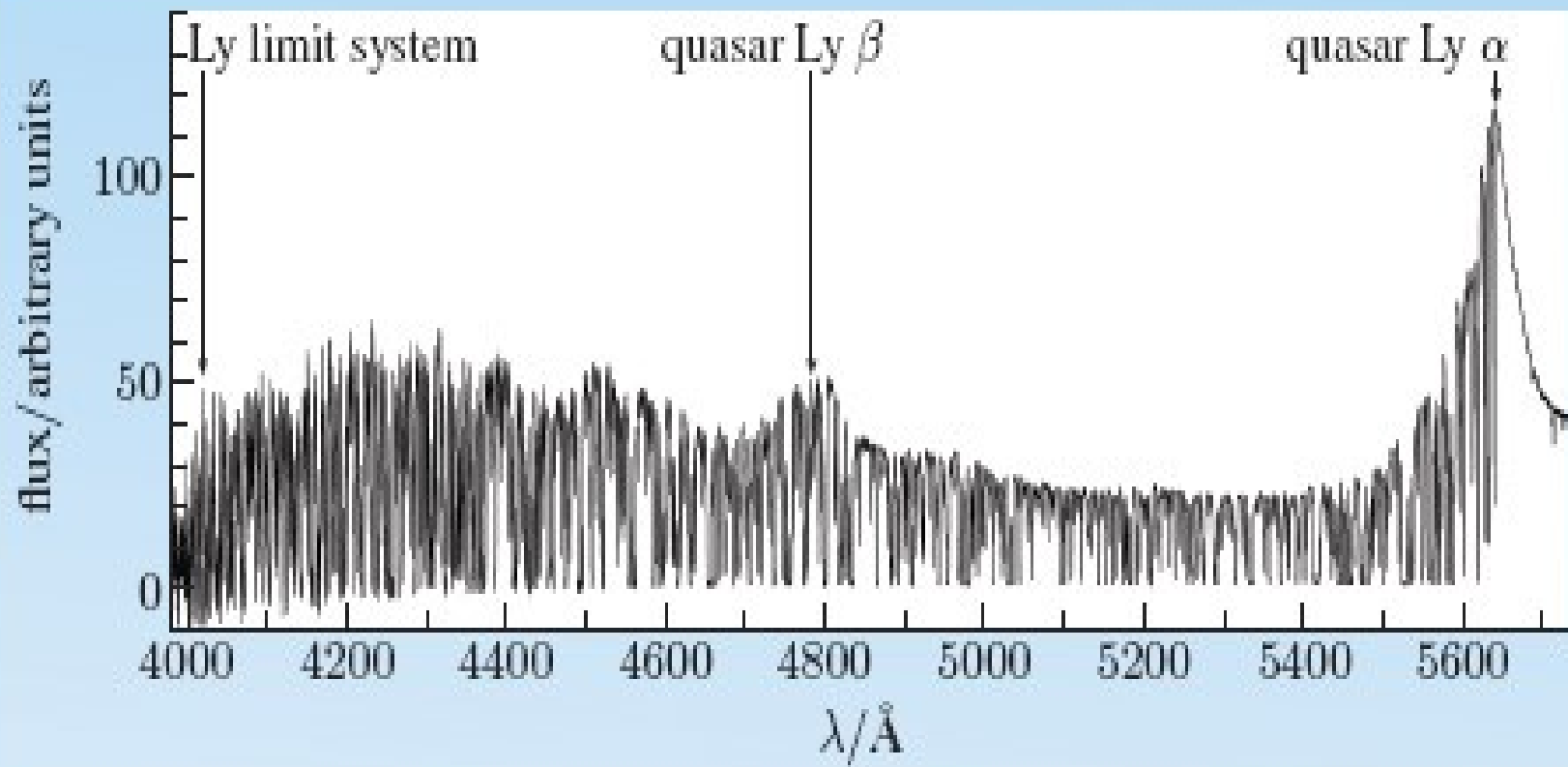
Ejemplo: tenemos un cuásar a  $z=3$  con un espectro continuo de emisión.

Ly-Alpha 121.5 nm.

Se absorbe Ly-alpha en nubes con diferente  $z$ .

Se obtiene todo un bosque de Ly-alpha.

Son protogalaxias.



# BAO

Oscilaciones acústicas de bariones

Las oscilaciones acústicas de protoestructuras no se desvanecieron del todo.

Se aprecian tanto angularmente como en  $z$ .

Tamaño típico 130 Mpc.

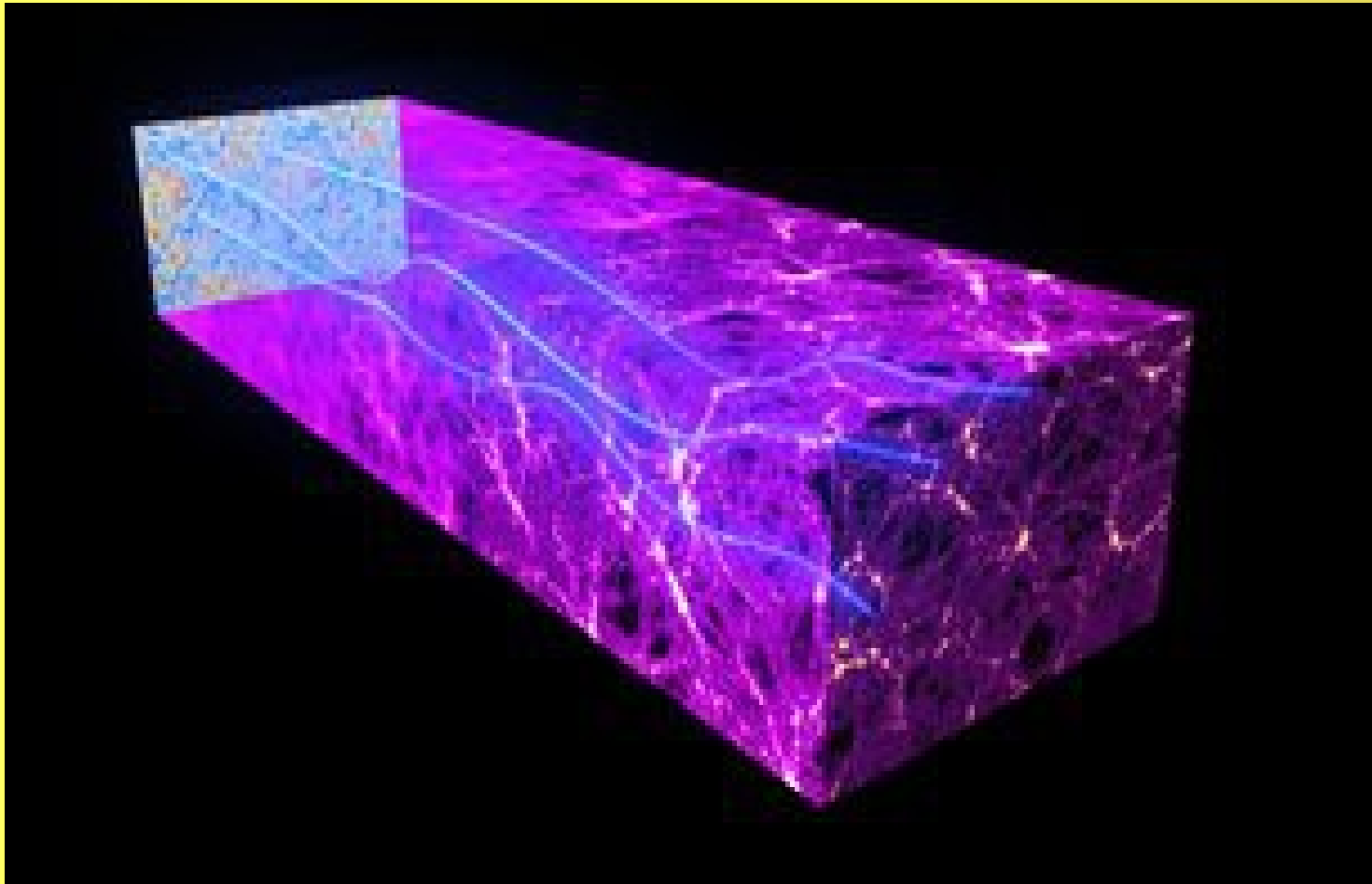
# Bosques de lentes

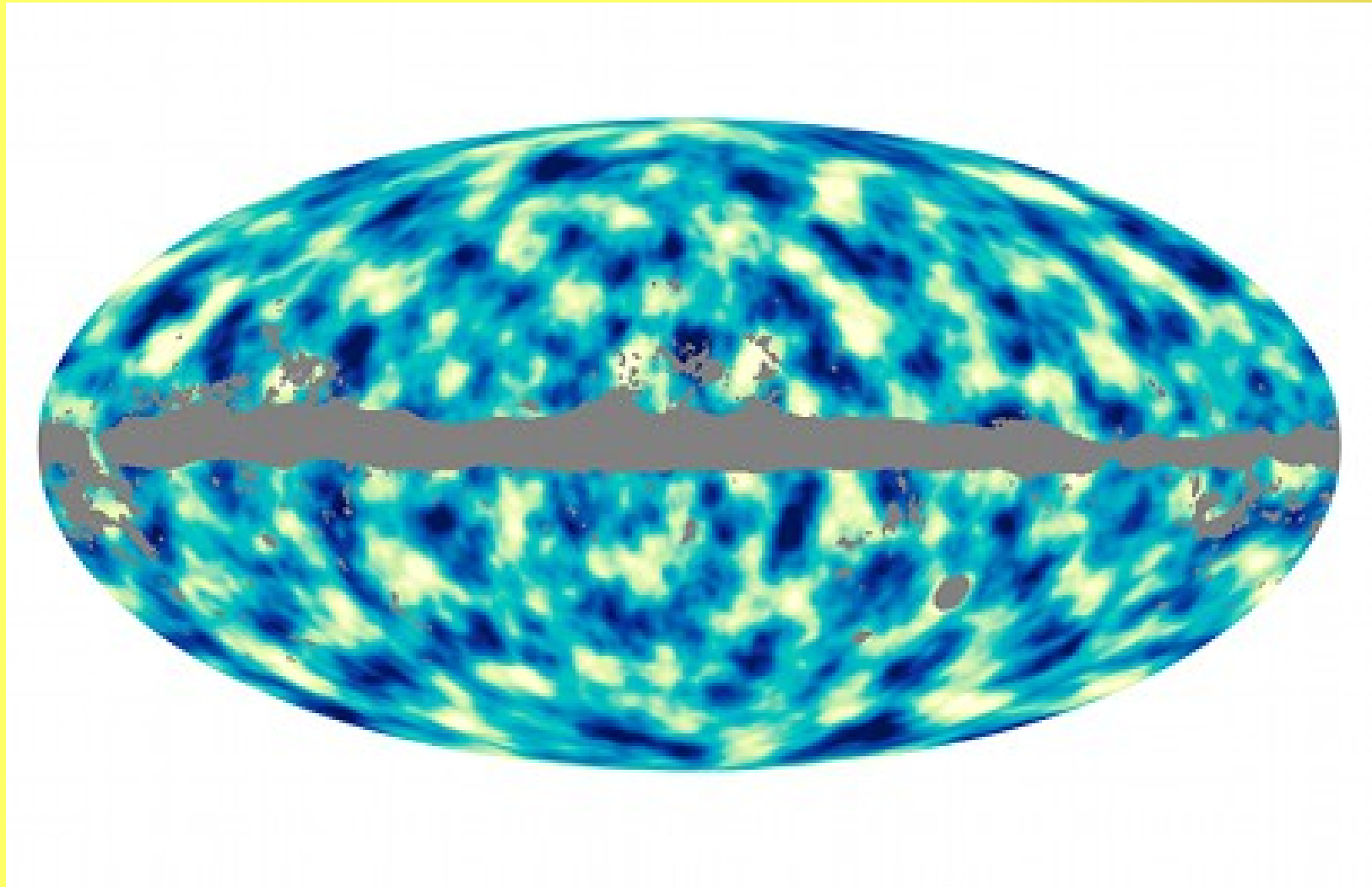
Los fotones del CMB tiene que atravesar una distribución de cúmulos y supercúmulos sufriendo varios efectos de GL.

No podemos saber la dirección de un fotón, pero sí de una región angular amplia por la modificación de su espectro de anisotropías angulares.

Si la desviación es menor de  $1'$ .

Podemos tener acceso a la distribución de DM







# Sachs-Wolfe integrado

Un fotón del CMB se azulea al caer en el pozo de potencial de un cúmulo pero se enrojece al salir. El efecto neto es nulo.

Pero no hay compensación si el cúmulo evoluciona durante el tránsito.

Muy sensible a DE