

# DM y DE

Probablemente, los bariones son una componente minoritaria del Universo.

DM y DE

Pero... DE no es la energía de la DM.

Es otra cosa

# Materia oscura

Hay razones científicas y sentimentales para pensar que hay DM en el Universo.

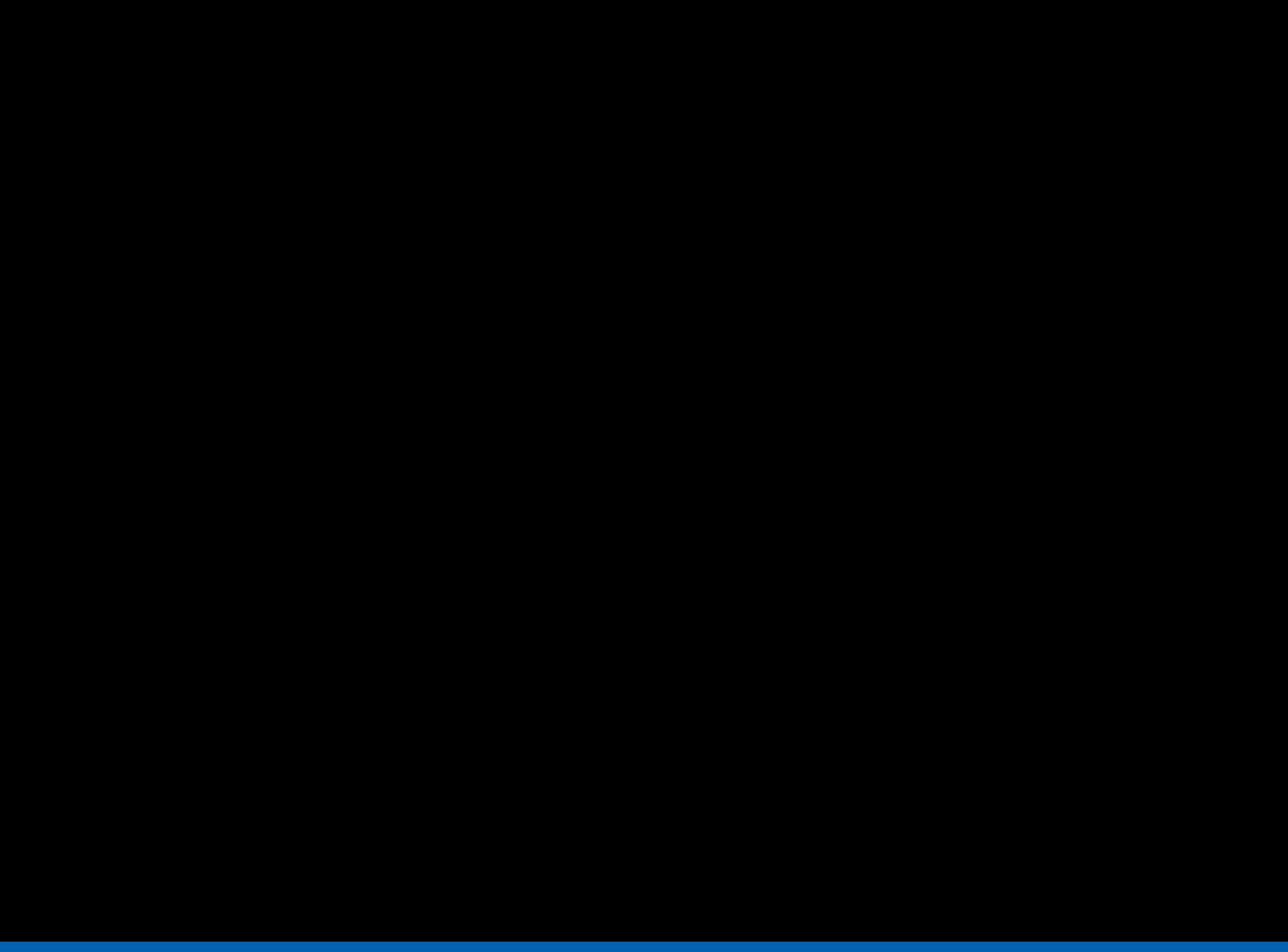
Científicas:

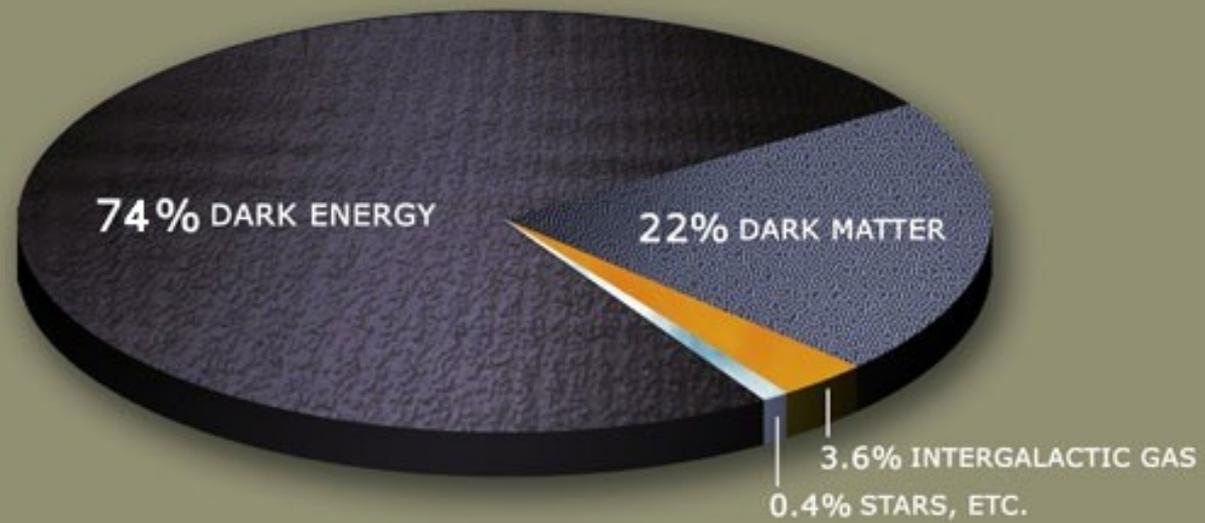
- a) Curva de rotación de galaxias espirales
- b) Velocidades de las galaxias en cúmulos
- c) Fondo Cósmico de Microondas, CMB

...

Sentimentales:

Cerra el Universo, El más sencillo.





# ¿Por qué no?

- Creemos en agujeros negros, neutrinos, machos, planetas...
- que serían DM (o casi)
- ¿Por qué todas las partículas deben interaccionar con la luz?
- No hay que tener alergia a la materia oscura

# ¿Quién tiró la piedra?

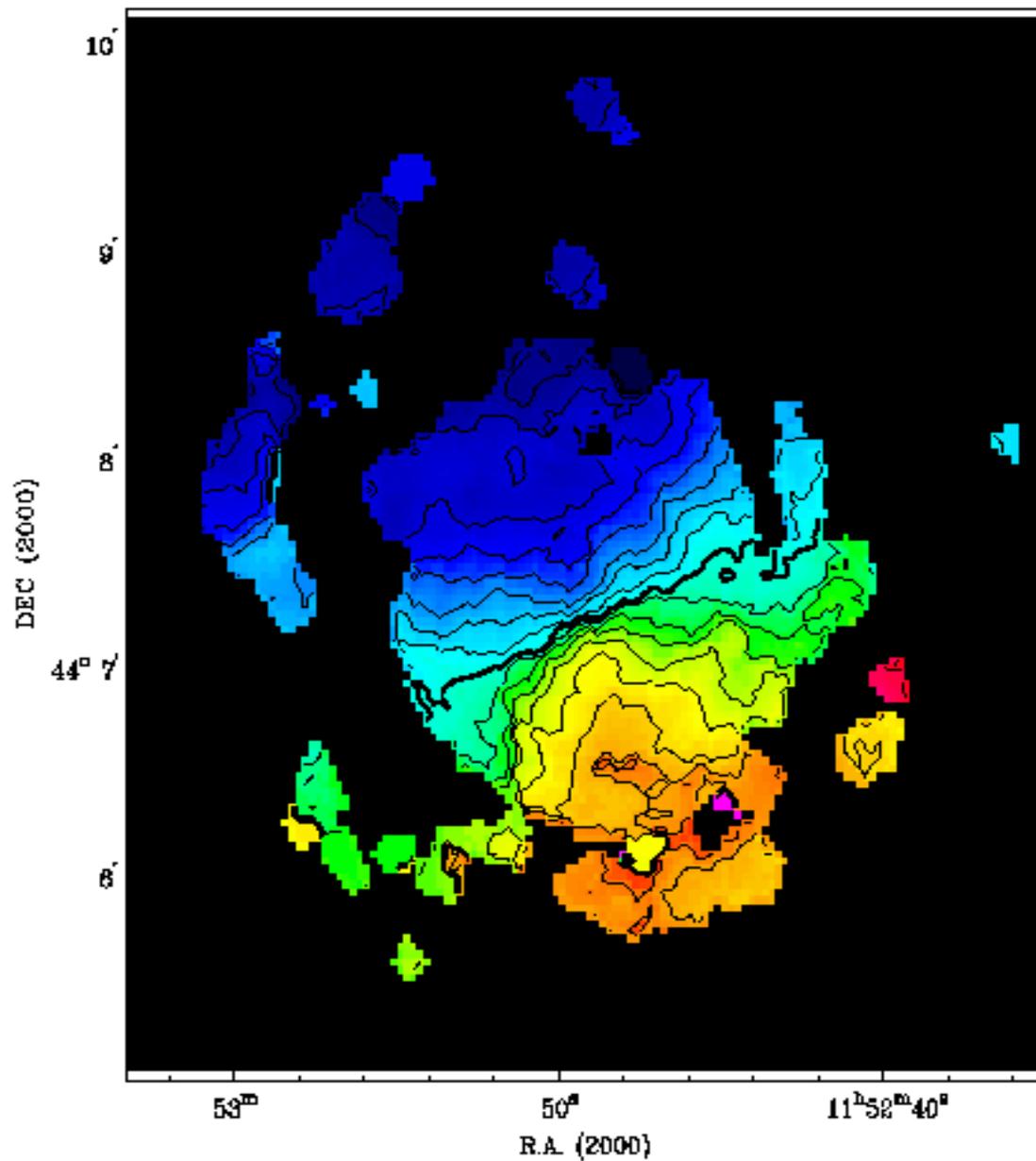
- Zwicky (1937): Teorema del Virial en cúmulos de galaxias
- Kahn y Woltjer (1959): M31 y VL
- Oort (1960): espesor de VL
- Babcock (1939): Rotación estelar en galaxias
- Bosma (1978): rotación del gas en espirales
- Lentes gravitatorias
- Fondo cósmico de microondas



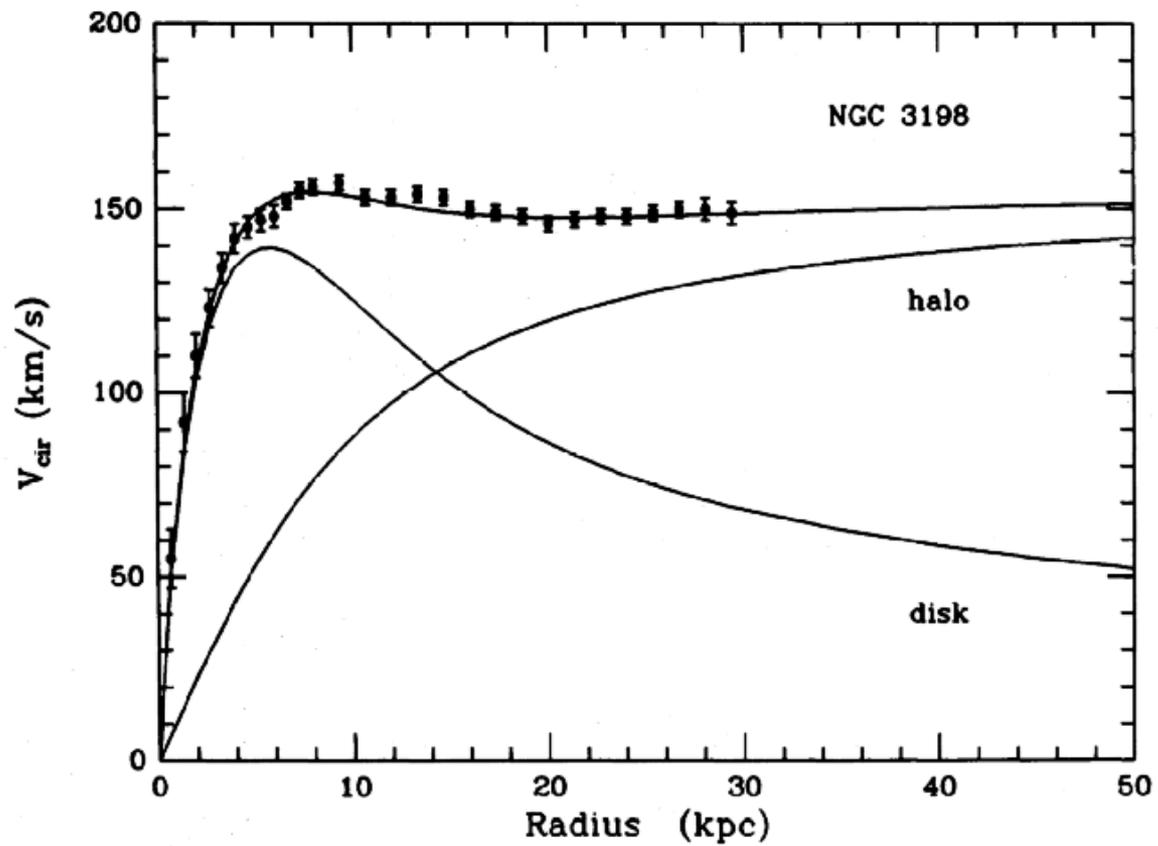
materia oscura - EFE - 2009

# NGC4622

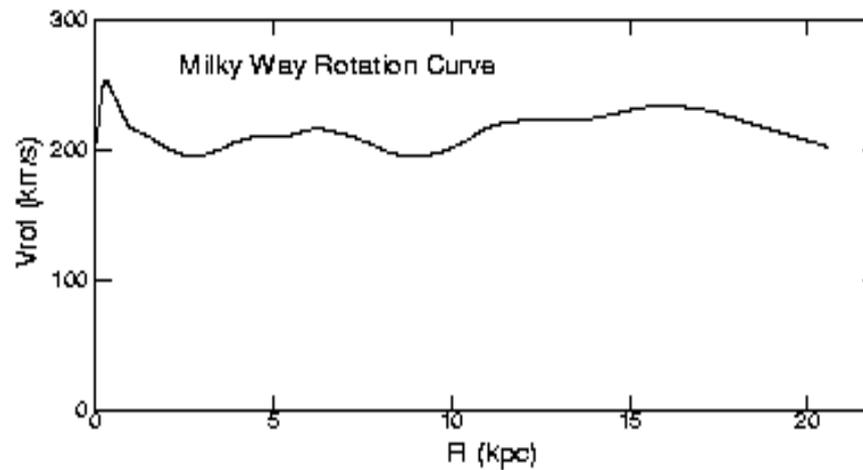




### DISTRIBUTION OF DARK MATTER IN NGC 3198



# La Vía Láctea



# La paradoja

$$\frac{GM}{r^2} \approx \frac{\theta^2}{r}$$

$$\theta \propto 1/\sqrt{r} \quad \frac{GM}{r^2} = \frac{q^2}{r}$$

rotación kepleriana

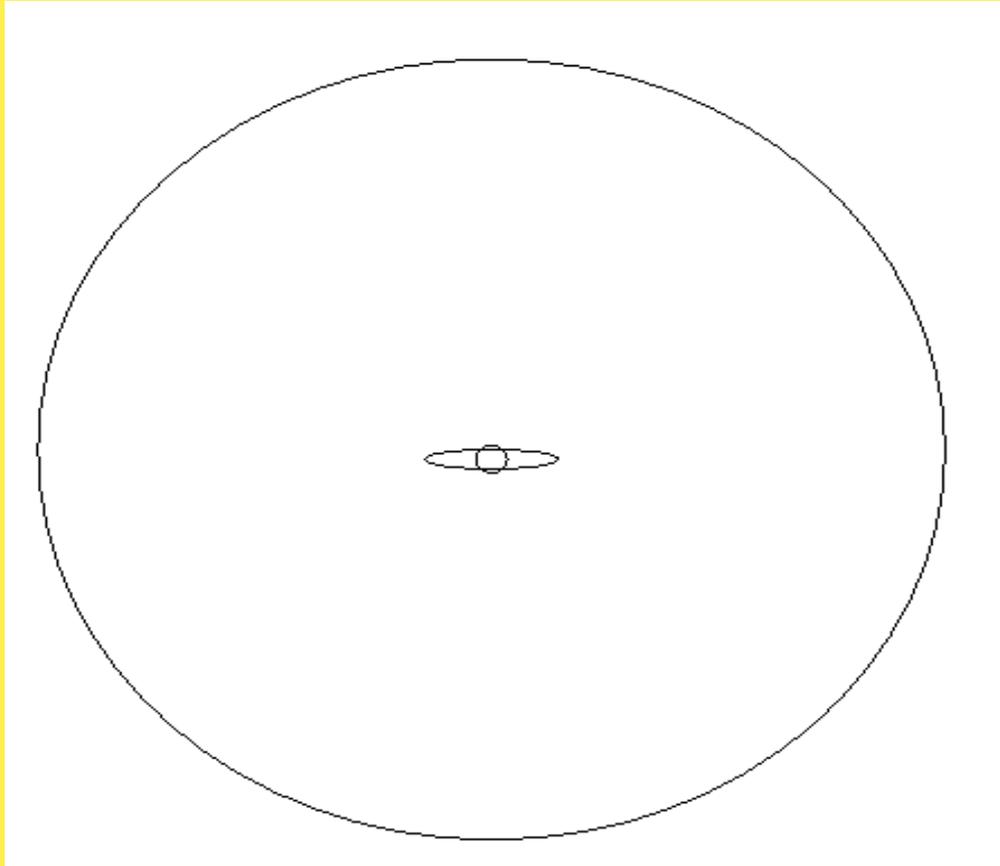
pero  $\theta$  es constante! . Si quisiéramos calcular M  
 $M \propto r$



# 3 soluciones

- 1) Existe materia oscura
  - Muy extendida → curva plana
  - Muy rápida → rotación rápida
- 2) Las leyes de la Mecánica están mal. (MOND)
- 3) Hay otras fuerzas

# Imagen de una galaxia



# ¿Por qué sí?

- Una galaxia *tiene* halo o es un halo ?
- Una sola galaxia *sin* halo ya es un gran problema.
- Es encontrar la luz de una luciérnaga sin encontrar la luciérnaga.
- Encontrar a un mísero electrón girando a gran velocidad requiere grandes cantidades de DM
- Una galaxia tiene no sabemos qué masa, no sabemos qué tamaño, no sabemos de qué está hecha, y se mueve en un medio de no sabemos qué.
- Ponemos toda la materia oscura que queramos, la ponemos donde queramos y la dotamos de las propiedades que queramos (Ej. No es disipativa)

# Halo isothermo

$$dM(r) = 4\pi r^2 \rho dr$$

$$\frac{GM(r)}{r^2} = \frac{q^2}{r}$$

$$dM(r) = \frac{q^2}{G} dr$$

$$r = \frac{q^2}{G} \frac{1}{4\pi r^2} = \frac{\text{constante}}{r^2}$$

$$r = \frac{r_0}{1+(r/r_0)^2}$$



# CDM

Para conocer la evolución no es preciso  
conocer la naturaleza de las partículas

Hace falta conocer su ecuación de estado

Materia oscura caliente, HDM

O

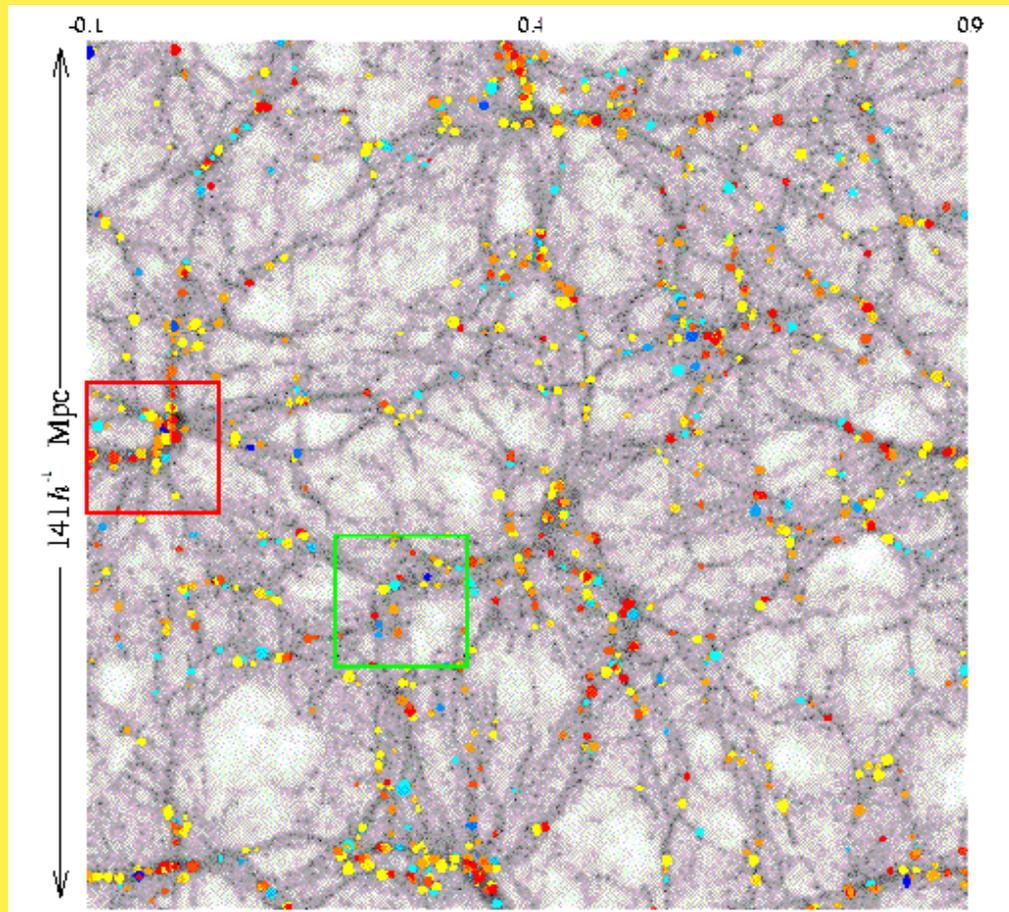
Materia oscura fría?

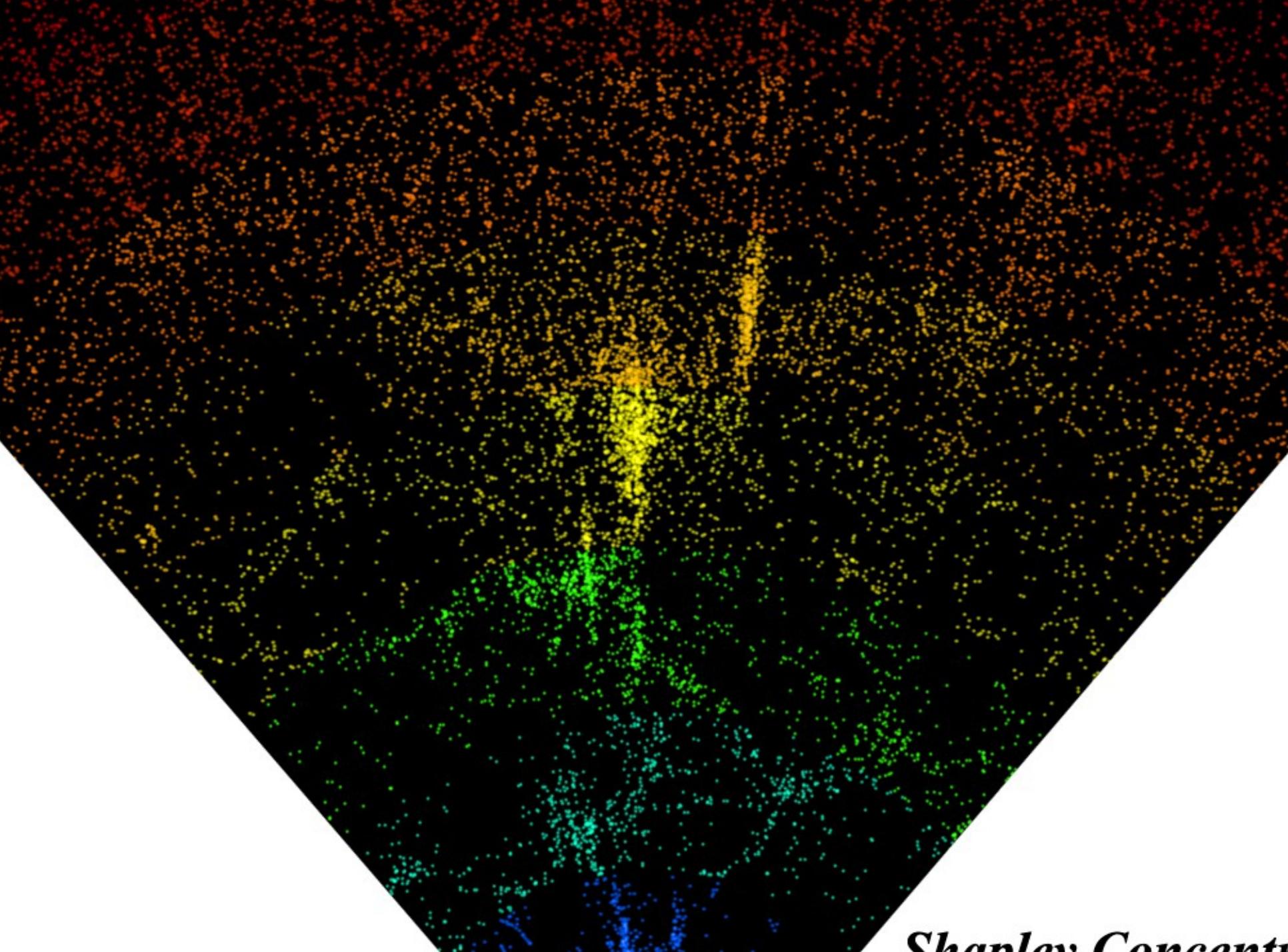
# CDM

- Los modelos de CDM predicen formación de estructuras de “abajo-arriba”.
- Los modelos de HDM de “arriba-abajo”.
- Hoy se acepta CDM
- Son “machos”?
- Son WIMPS?
- Son “neutralinos”?

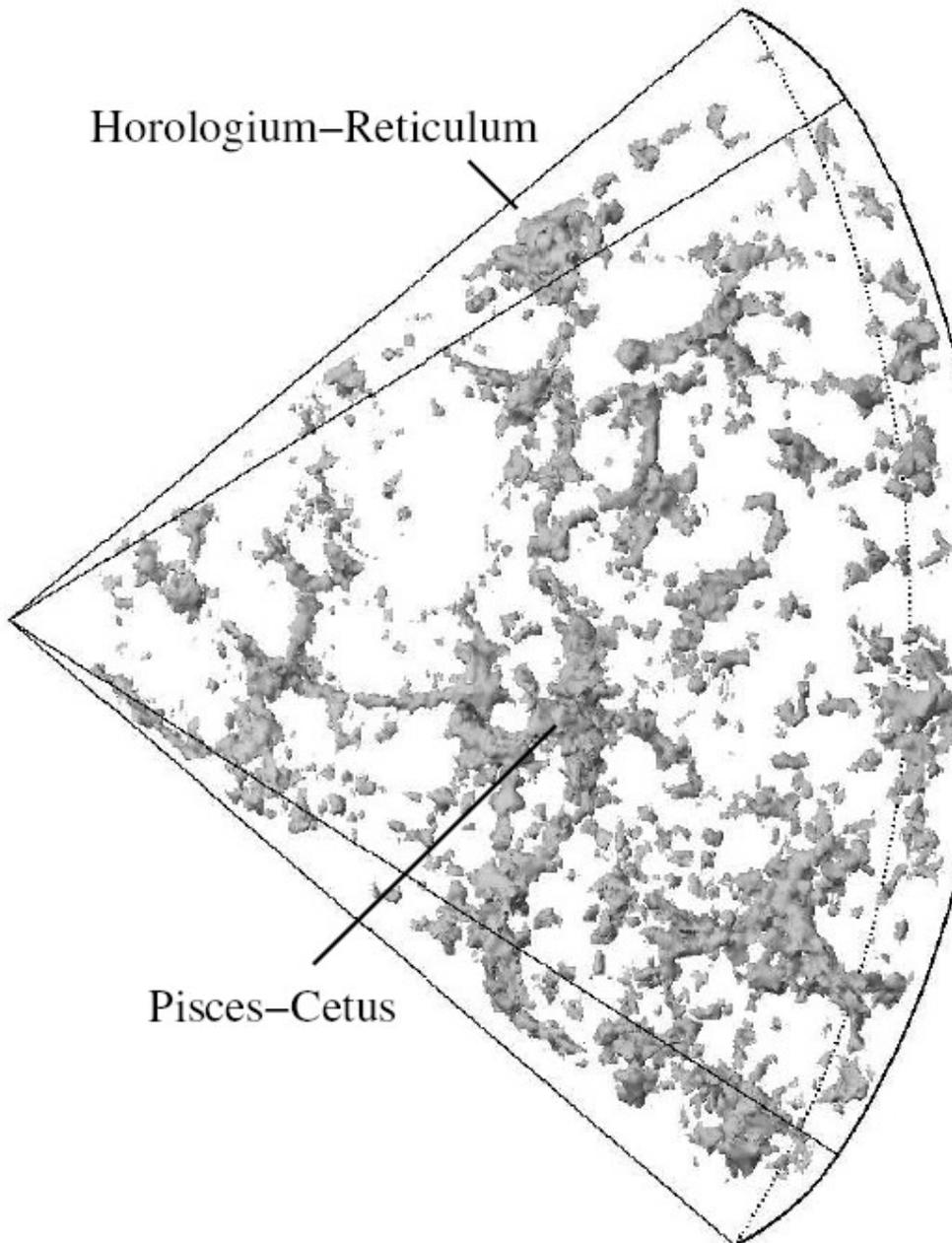
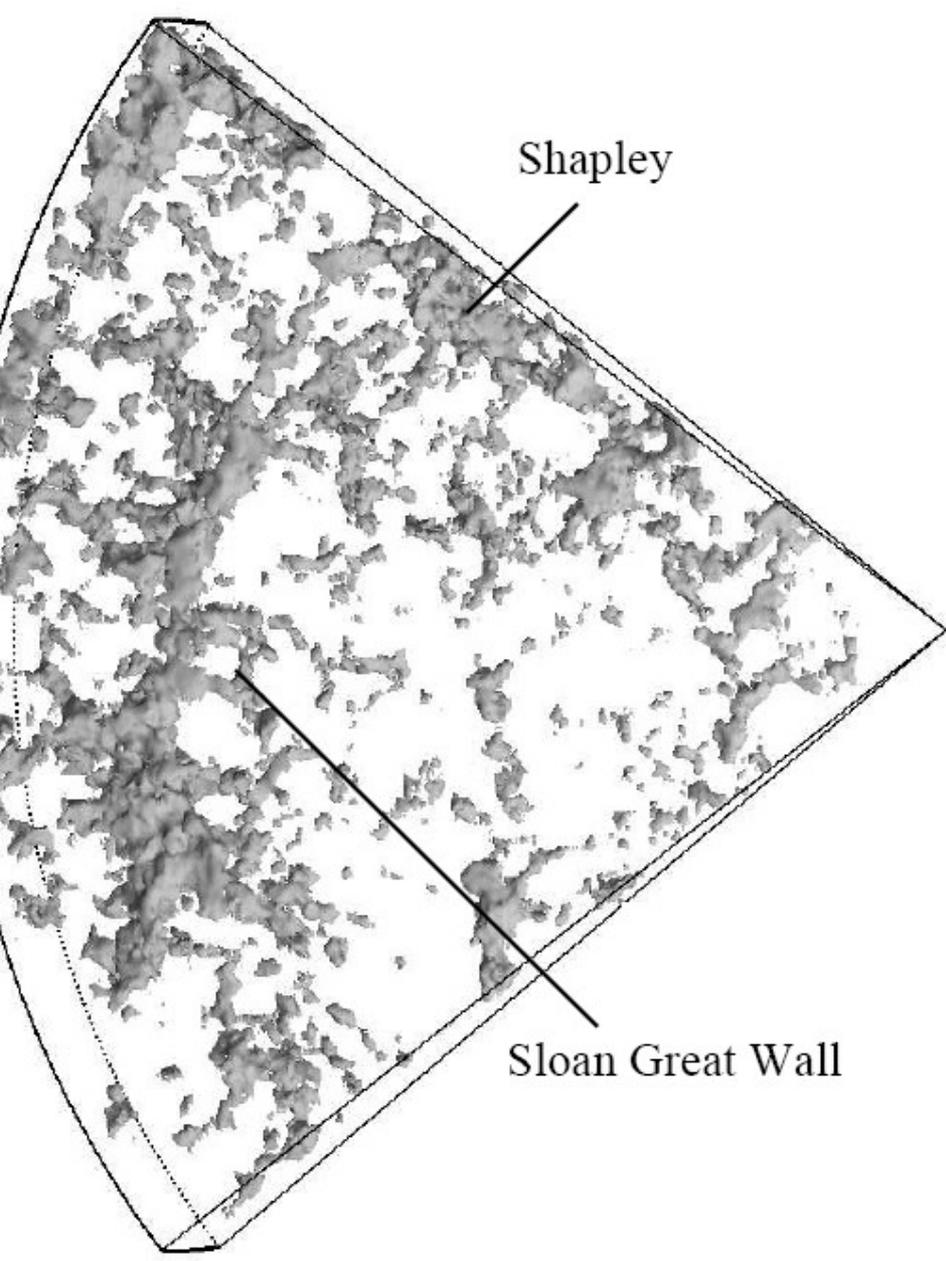
# Modelos CDM

- Modelos con simulaciones numéricas que reproducen:
  - La distribución de materia (oscura)
  - La formación de galaxias
  - Los diferentes tipos de galaxias
  - La estructura galáctica...
- 
- Hoy son modelos CDM- $\Lambda$

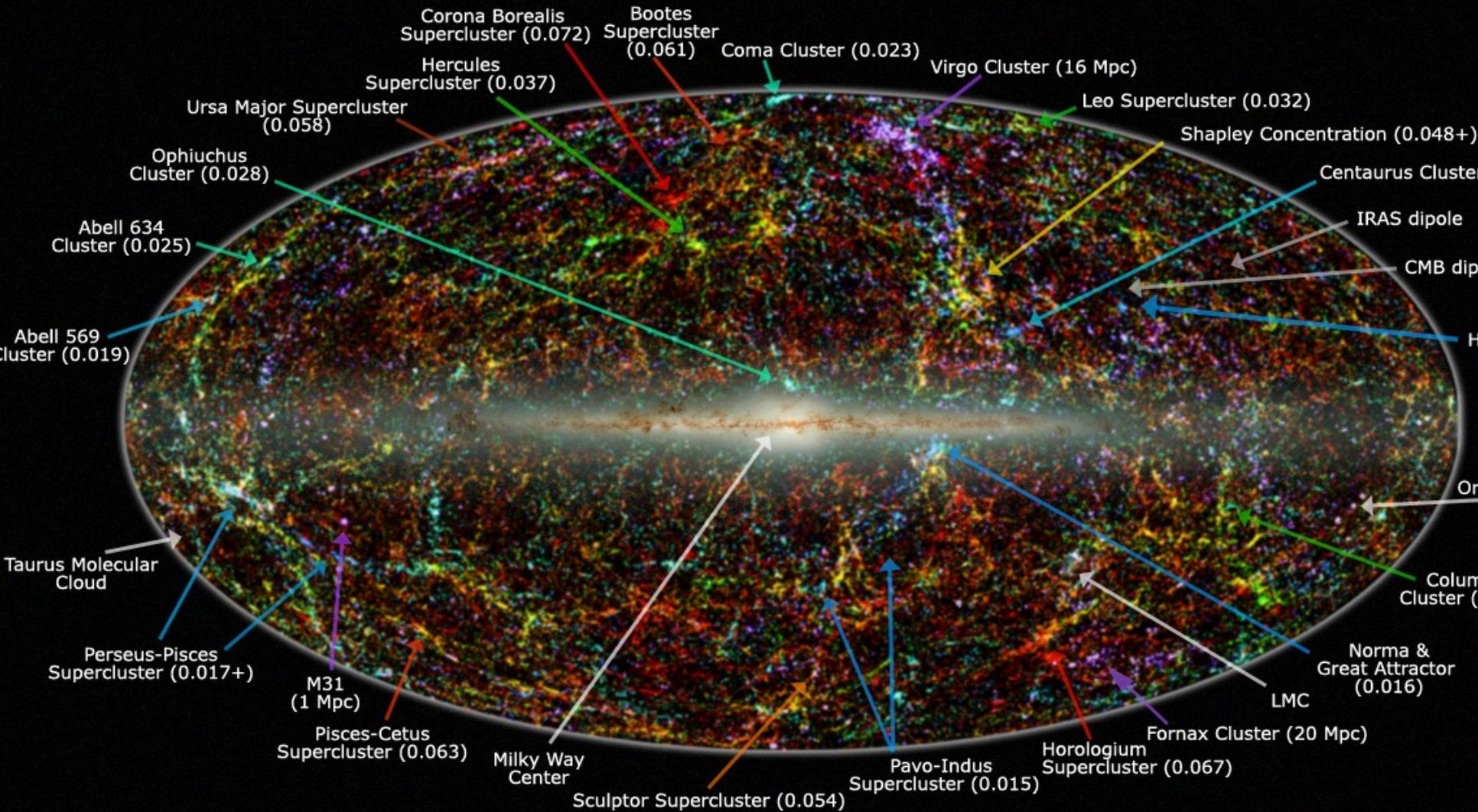




*Shapley Concentration*



# Large Scale Structure in the Local Universe



**Legend:** image shows 2MASS galaxies color coded by redshift (Jarrett 2004); familiar galaxy clusters/superclusters are labeled (numbers in parenthesis represent redshift).  
Graphic created by T. Jarrett (IPAC/Caltech)

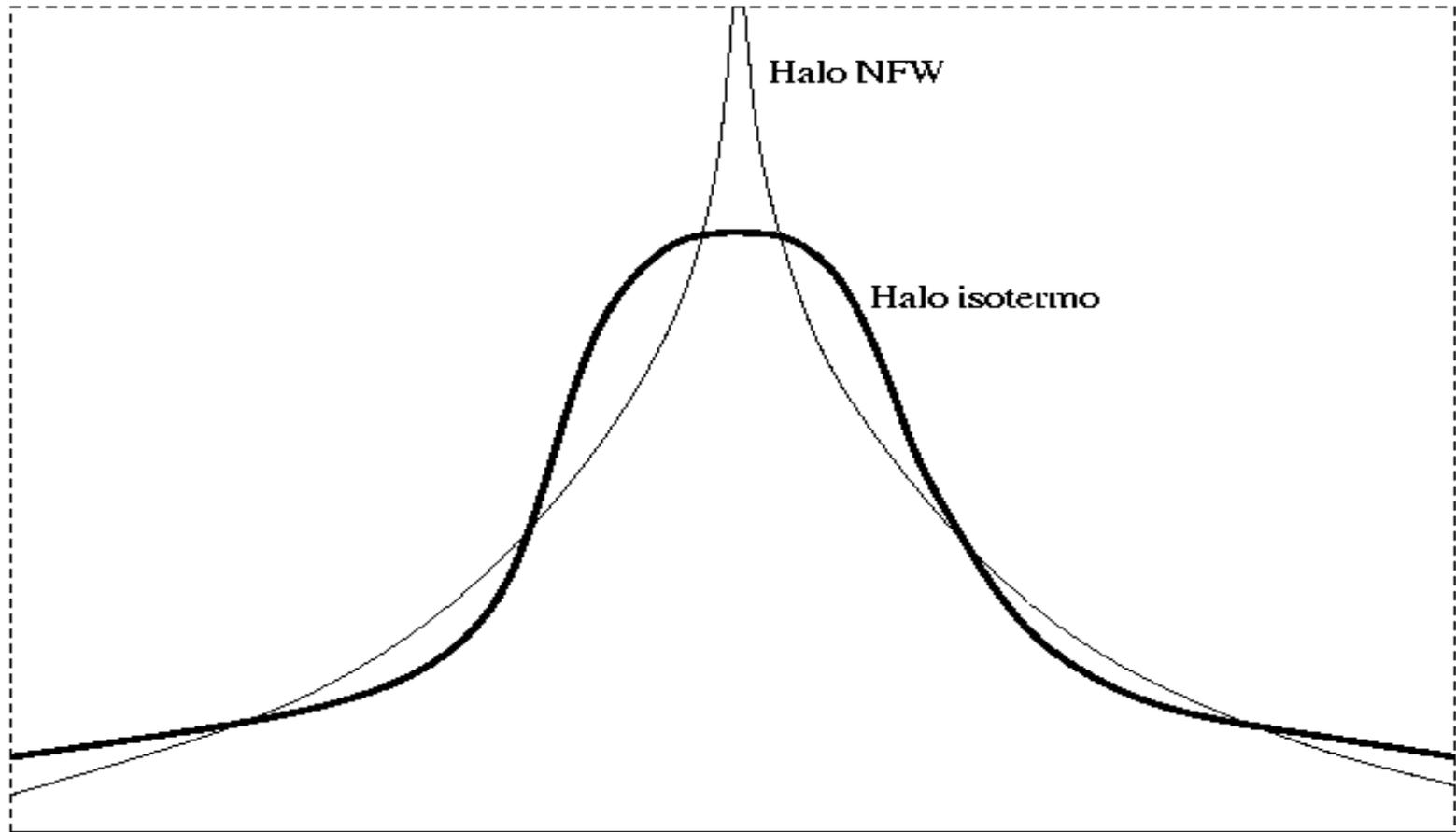
# Perfil NFW

- El perfil que predicen los modelos de **modelos jerárquicos de materia oscura fría**

$$r = \frac{r_0}{r / r_s \left(1 + r / r_s\right)^2}$$

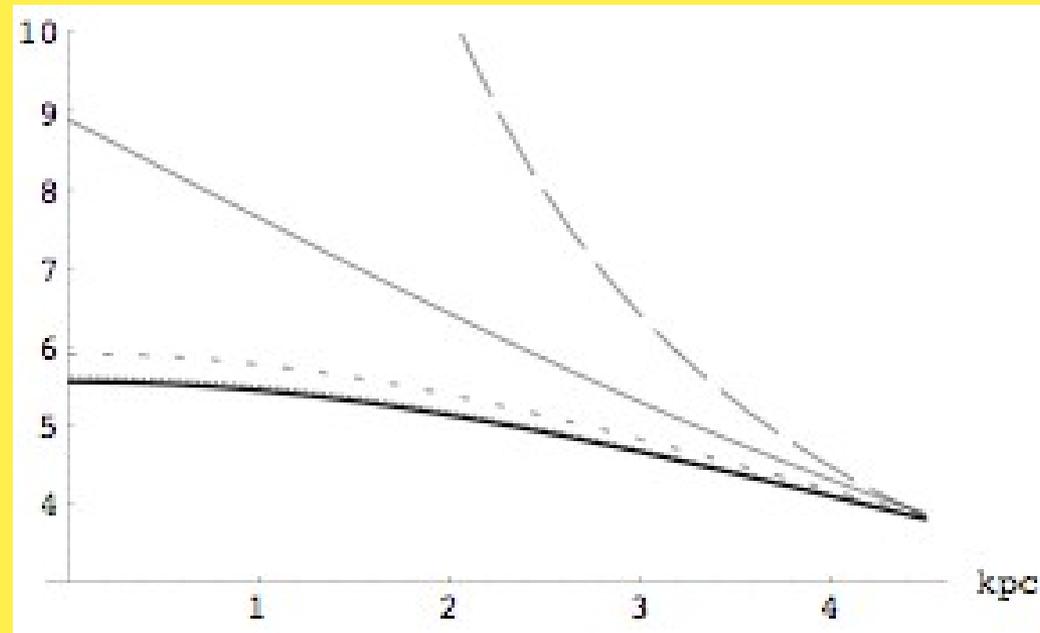


# halos



# Polítropos de Boltzmann-Poisson sin colisiones

- De la tesis de J. Calvo



$$\rho = \rho_0 \left( 1 - \left( \frac{R}{R_0} \right)^2 \right)^{m+32}$$

# Ecuaciones de estado

caliente:  $e = 3p$

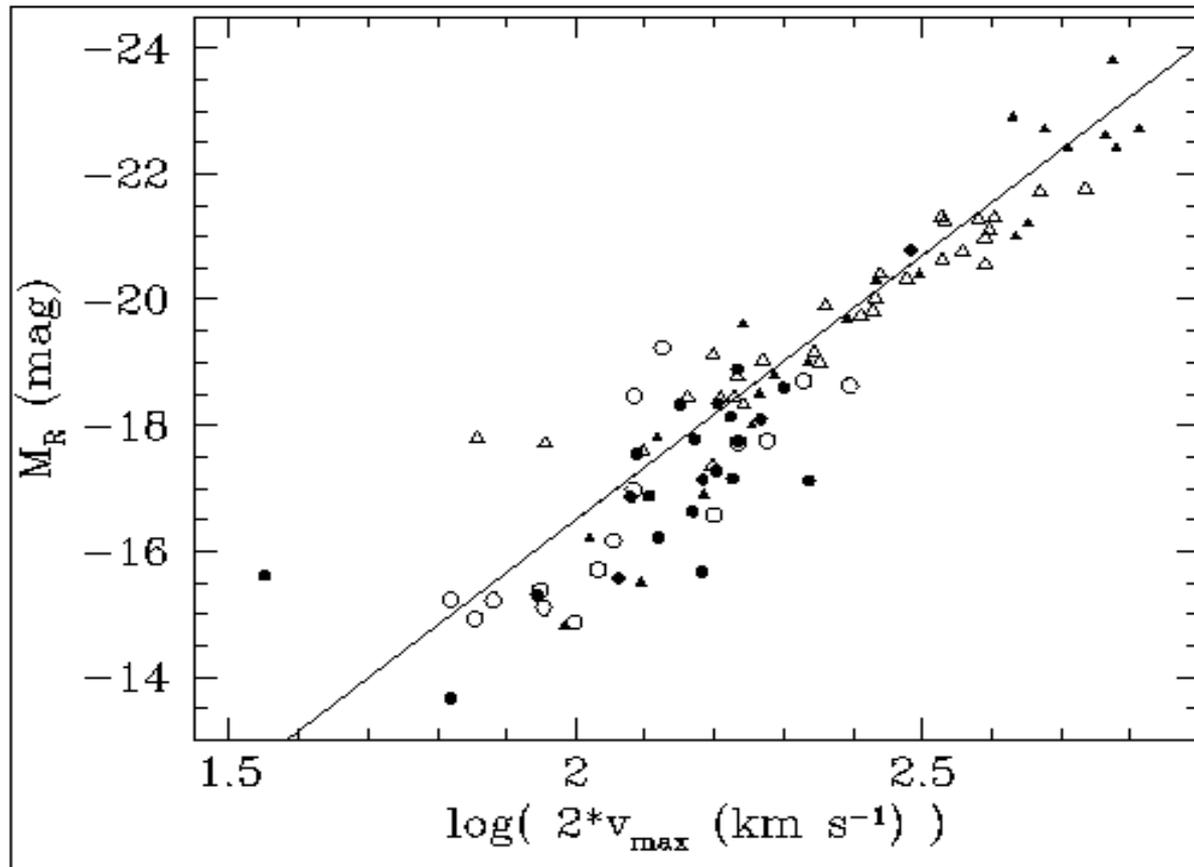
fría:  $e = mn + \frac{3}{2} p$

$P \gg 0$

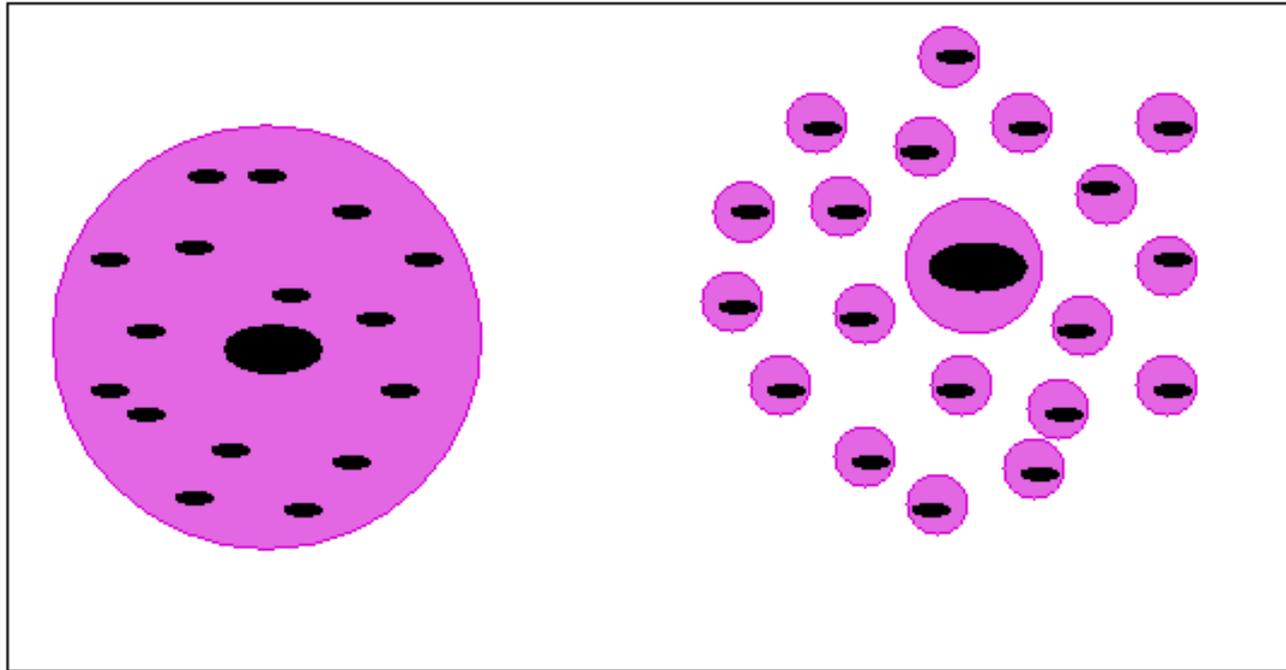
# Problemas...

- El modelo de materia oscura fría jerarquizada explica casi todo, pero...
- 3 Problemas:
  - 1. Produce demasiados halos oscuros
  - 2. No explica bien la curva de rotación.
  - 3. No explica bien la relación de Tully-Fisher

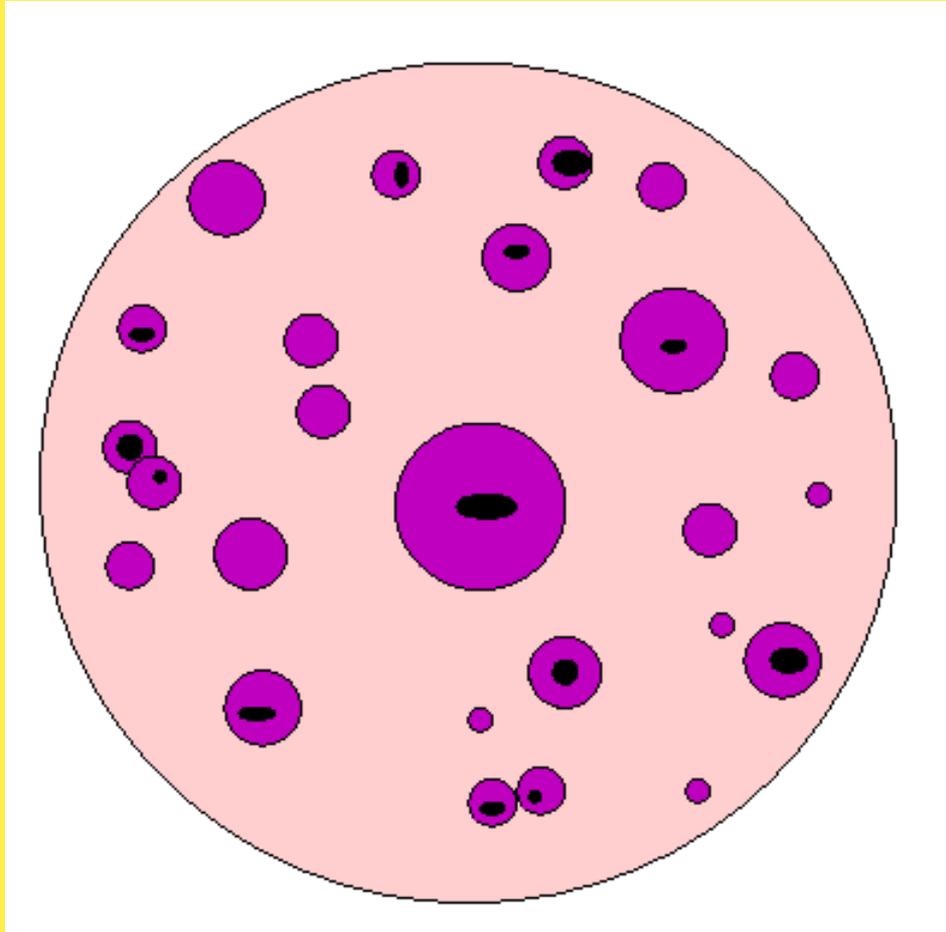
# Tully Fisher



# ¿Dónde?



¿Es un cúmulo así?



# DM en otras galaxias

- Se encuentra en todos los tipos, y con variedad de técnicas, pero la prueba es menos concluyente.
- En elípticas, lenticulares, de anillo polar, esferoidales enanas, satélites, binarias, irregulares, cD, etc.
- Las más pequeñas tienen (en proporción) más materia oscura.
- El tamaño es (casi) independiente de la luminosidad.

# Galaxias con anillo polar

- Por desgracia son todas S0...
- Menos una! NGC660, espiral.
- Los anillos magnetizados.

# Lenticulares

- NGC 404 , del Ríó, Cepa et al., rotación kepleriana.
- Halos pequeños, poca DM, aunque son brillantes.
- Si tienen anillos gaseosos, pero los anillos tienen fuerza magnética centrípeta.

# Binney y Tremaine

- “The mass-to-light ratio... ..is probably large, but not so large as the ratio of the mass of papers on this subject to the light they have shed on it”

# MOND

$$\frac{\sqrt{GMa_0}}{r} + \frac{GM}{r^2} = \frac{\theta^2}{r}$$

# F=ma?

$$\vec{F} = m \vec{a} \frac{a/a_0}{\sqrt{1+(a/a_0)^2}}$$

# Le fin du MOND

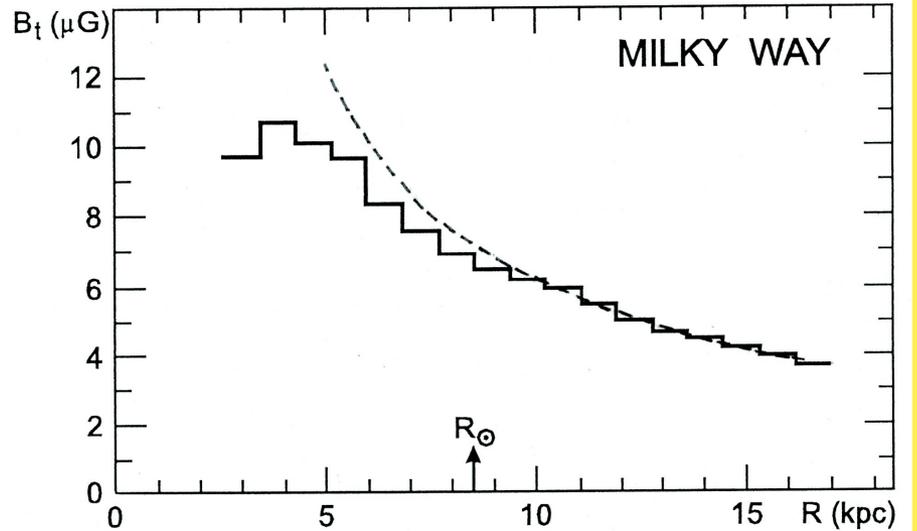
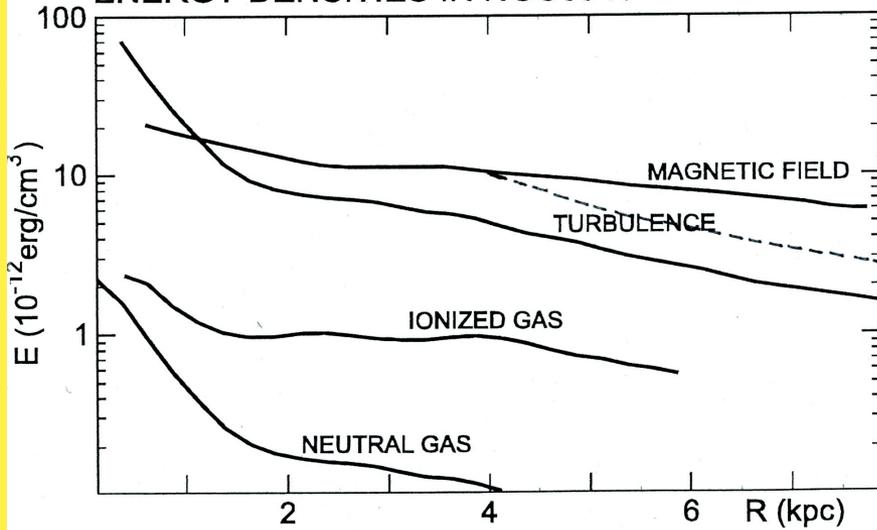
Puede dudarse de la mecánica de Newton  
Pero...

Puede ponerse en duda la teoría de la  
Relatividad?

# Hipótesis magnética

- En el interior, con estrellas, no hay problema de DM
  - En el exterior, con gas, el campo magnético no es despreciable.
  - Los cúmulos globulares no están muy separados.
  - Las satélites y las compañeras pueden determinar la masa, pero “galaxias con halo” o “halo con galaxias”.
- 
- Trabajo pionero: Nelson (1988)

ENERGY DENSITIES IN NGC6946



# Lentes gravitatorias

- Las masas curvan el espacio.
- Los fotones siguen trayectorias geodésicas.
- Ejemplo: una estrella situada (angularmente) cerca del Sol se ve en “otro” sitio.
- MACHOS: amplificación de la luz de una estrella al encontrarse un “macho” (resultado negativo)
- Deformación de la imagen de un cuásar al pasar cerca de un cúmulo de galaxias.
- Galaxia más lejana,  $z = 10$
- Anillo de Einstein: Perfecto alineamiento “observador lente objeto”



IR Colour Composite of Galaxy Cluster CL2244-02 with Gravitational Arcs  
(VLT UT1 + ISAAC)

ESO PR Photo 46d/98 ( 26 November 1998 )

© European Southern Observatory

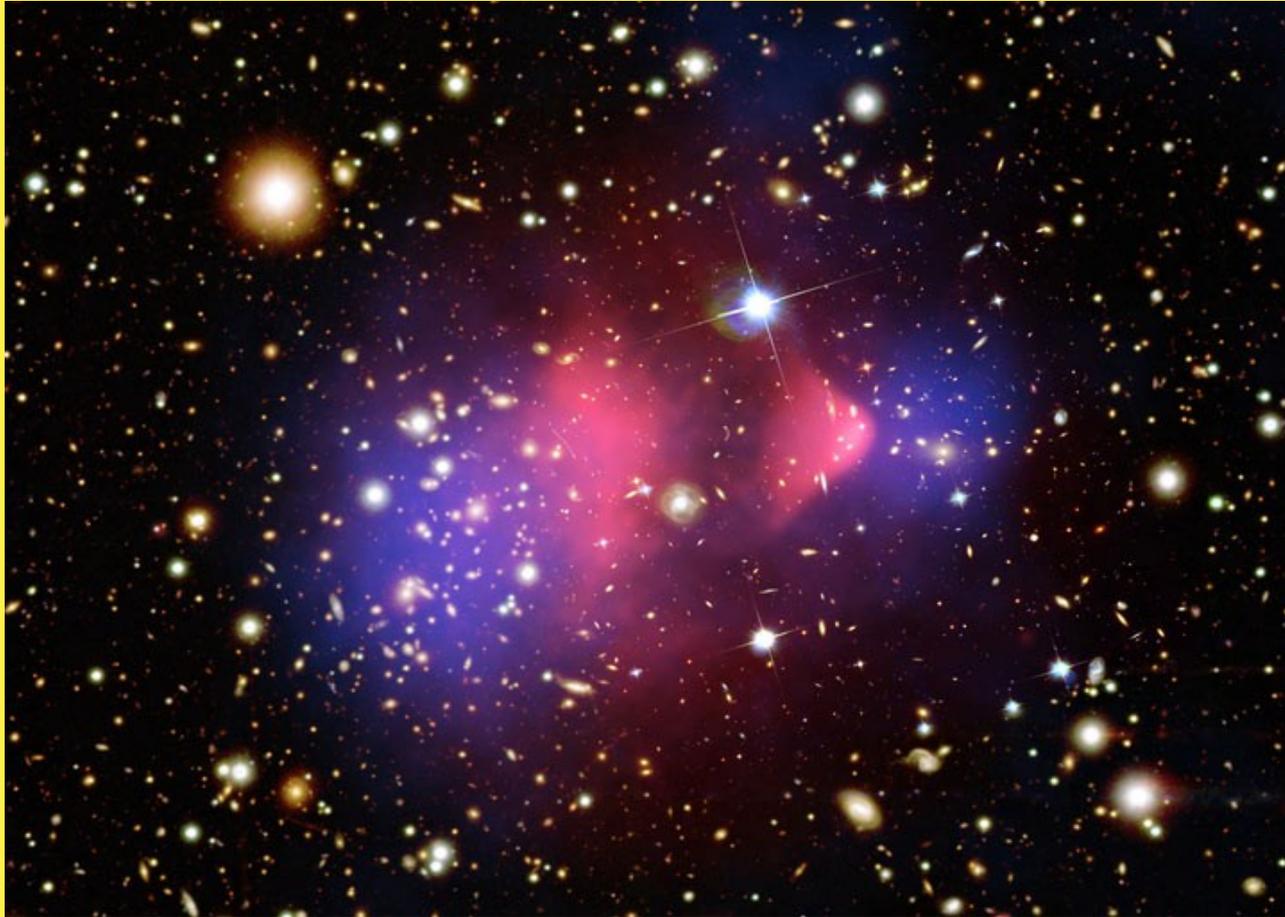




**Distant Galaxy Lensed by Cluster Abell 2218**  
**Hubble Space Telescope • WFPC2 • ACS**

ESA, NASA, J.-P. Kneib (Caltech/Observatoire Midi-Pyrénées) and R. Ellis (Caltech)

STScI-PRC04-08







# Galaxias esferoidales enanas

- Radios de marea

$$\rho = P \left( \frac{\mu}{M} \right)^{1/3}$$

