

SISTEMAS DE GALAXIAS

SISTEMAS DE GALAXIAS



¿Qué son?

SISTEMAS DE GALAXIAS

Pares



Tripletas



Grupos



Cúmulos



Tesis y papers de Fernanda

Grupos de Galaxias

Sistema con más de 3 o 4 galaxias

TIPOS DE GRUPOS

Compactos

La separación media entre los objetos del sistema es del orden del tamaño de las galaxias.

Difusos

La separación media es varias veces el tamaño característico de las galaxias.

Fósiles

Conformado por una sola galaxia gigante.

Dariush et al. (2007) proponen un esquema evolutivo donde los diferentes tipos de grupos pueden ser considerados como distintos estados evolutivos de un mismo sistema.

GRUPOS
DIFUSOS



GRUPOS
COMPACTOS



GRUPOS
FÓSILES

GRUPOS COMPACTOS

- **Dispersión media de velocidades de 200km/s**
- Escenario ideal para fusiones/interacciones de galaxias.
- Baja luminosidad en rayos X.



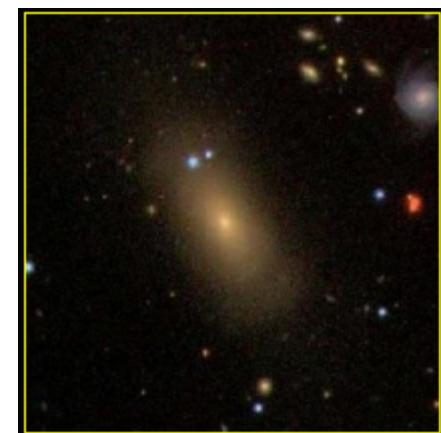
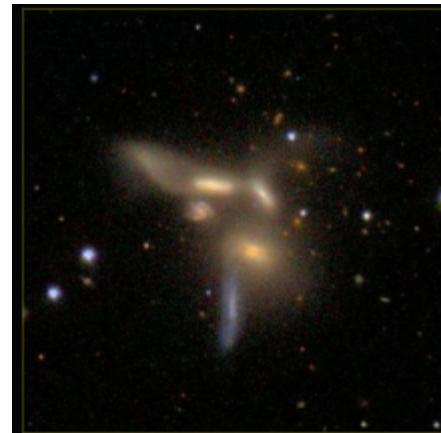
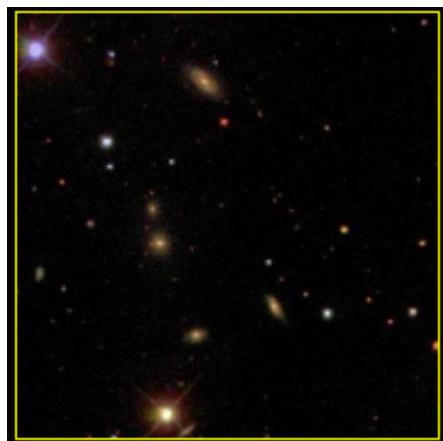
GRUPOS DIFUSOS

- **Dispersión media de velocidades de 200km/s**
- Observaciones en rayos X sugieren que las propiedades son similares a los grupos compactos.
- Mas alta población de galaxias elípticas de secuencia roja.



GRUPOS FÓSILES

- Estado evolutivo final: formado por la fusión de galaxias miembro del grupo en **una sola galaxia central elíptica muy brillante**.
- Mulchaey & Zabludoff (1999) los propone como “grupos fallidos”, formados originalmente con una función de luminosidad atípica, donde la mayor parte de bariones fueron utilizados en la formación de una sola galaxia brillante.
- Emisión extendida en rayos X con intensidad similar a cúmulos.
- Jones et al. (2003) los definen como una fuente extendida de rayos X, cuya luminosidad proviene del gas difuso y caliente.



Esquema evolutivo ???



CÚMULOS DE GALAXIAS

(Emisión óptica)

Cúmulos de Galaxias

- Son los principales objetos que dan cimientos a la estructura en gran escala del Universo.
- Tienden a ubicarse en las intersecciones de los filamentos

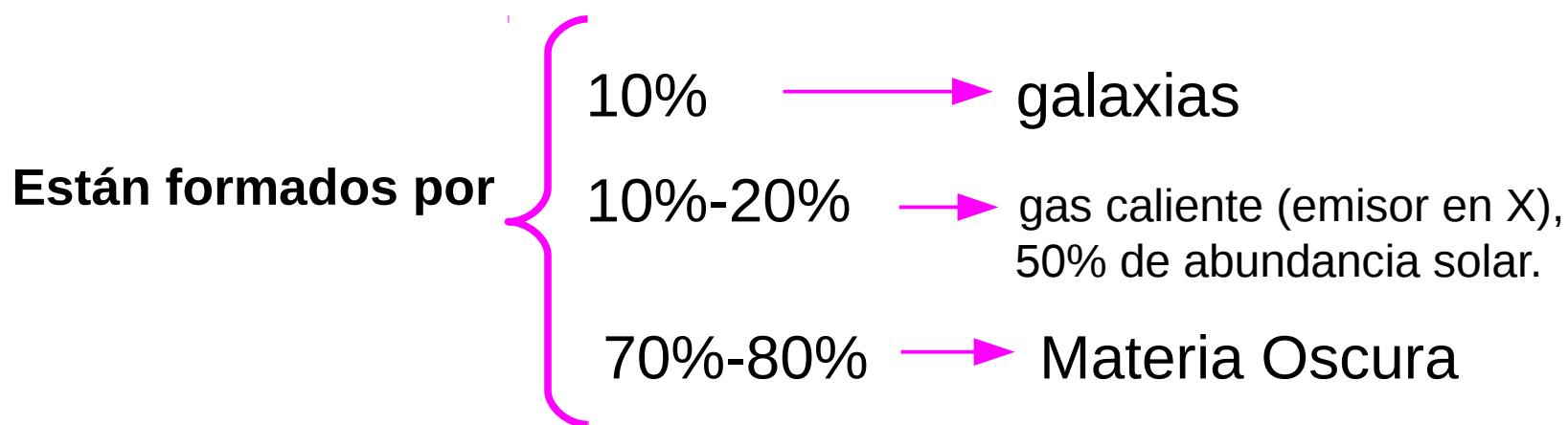


El primero es estudiar estos objetos fué Wolf (1906)

Cúmulos de Galaxias

Son los objetos mas grandes del Universo que han alcanzado el equilibrio

- Proveen la mayor evidencia de **materia oscura**.
- Tienen perfiles relajados (virializados), están en estado cuasi-estacionario.
- Están ligados gravitacionalmente, conteniendo cientos de galaxias en una región de $\sim 1,5 \text{ Mpc}$ de radio y una masa de $\sim 10^{15} \text{ M}_\odot$.



Cúmulos de galaxias



Características generales

Propiedades	Cúmulos Ricos	Cúmulos Pobres/Grupos
Riqueza	30-300 galaxias	4-30 galaxias
Radio	1-2 Mpc/h	0.1-1 Mpc/h
σ	400-1400 km/s	100-500 km/s
σ medio	750 km/s	250 km/s
Masa	$10^{14} - 2 \times 10^{15}$ M_sun	$10^{12} - 2 \times 10^{14}$ M_sun
T° X	2-14 kev	< 2 kev
Lx	$10^{42} - 10^{45}$ erg/s	< 10^{42} erg/s
$\langle M/L \rangle$	300 Mo/Lo	200 Mo/Lo

Clasificación de cúmulos (según su morfología en el óptico)

Se han utilizado diferentes propiedades de los cúmulos para definir diversas características morfológicas (relacionadas entre si)

- Abell (1958)

{ regulares
irregulares

Los cúmulos regulares son dinámicamente mas evolucionados y relajados que los irregulares.

- Zwicky (1967)

{ compactos
medianamente compactos
abiertos

Una sola concentración de mas de 10 galaxias con separaciones comparables al tamaño de las galaxias

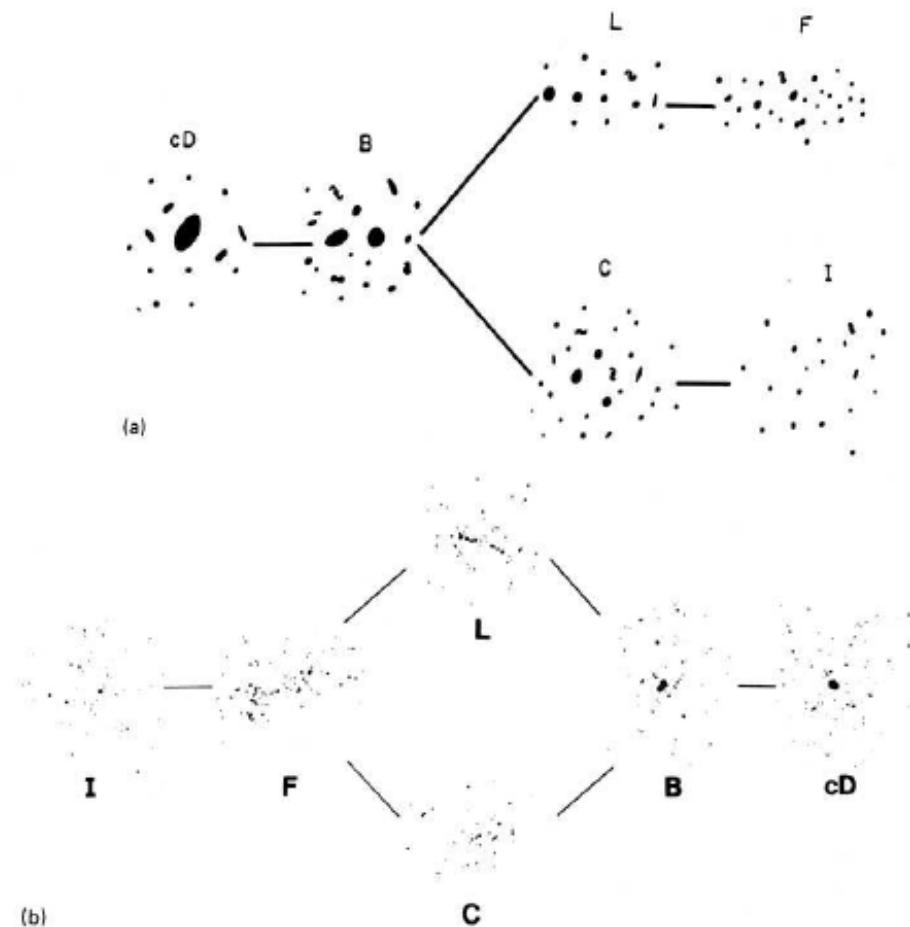
Menos galaxias y puede haber mas de una concentración

Sin concentración pronunciada de galaxias

Bautz y Morgan (1970): I, II, III, depende del tipo de galaxia/s dominante/s.

Clasificación de cúmulos (según su morfología en el óptico)

Rood-Sastry (1971): se basa en la naturaleza de la distribución de las 10 galaxias mas brillantes



cD (central dominant)
B (binary)
L (line)
C (core)
F (flat)
I (irregular)

(Strubly & Rood (1982)
Proponen secuencia
evolutiva

Clasificación de cúmulos

(según su morfología en el óptico)

Existe una correlación entre las diferentes clasificaciones

Propiedad	Regular	Intermedio	Abierto
Zwicky	compacto	medio	abierto
Bautz-Morgan	I,I-II,II	II,II-III	II-III,III
Rood-Sastry	cD,B,L,C	L,C,F	F,I
Simetría	esférica	intermedia	irregular
Concentración	alta	moderada	baja
Subestructura	ausente	moderado	significativa
Riqueza	ricos	moderada	pobres

Riqueza del cúmulo

Es una medida del **número total de galaxias** que pertenecen al cúmulo.

Determinar la población total de galaxias (riqueza) no es fácil porque:

- Los cúmulos no tienen límites claros
- Depende de la magnitud límite
- Hay contaminación de galaxias de fondo

CATÁLOGOS DE CÚMULOS: Cúmulos de Abell (1958)

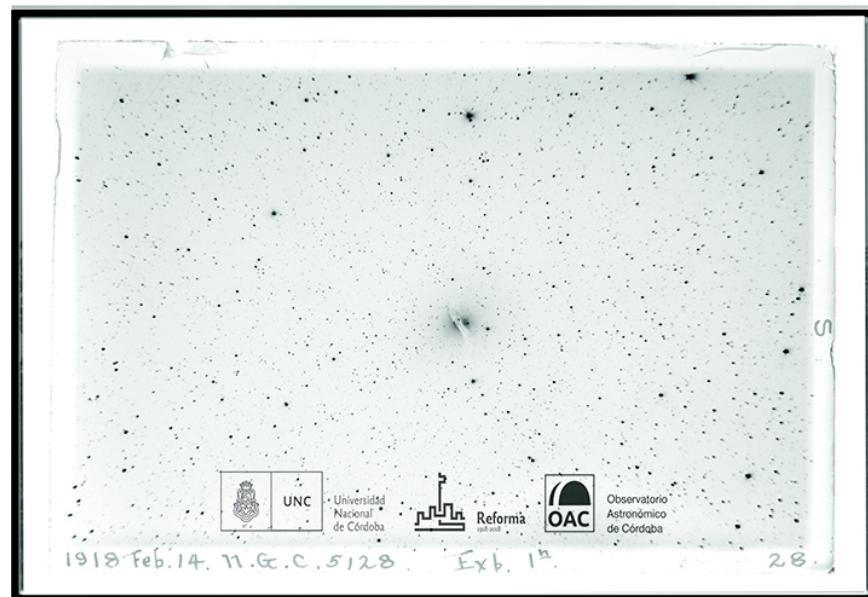
- Catálogo de cúmulos de galaxias compilado por George Abell a partir de **inspección visual de placas fotográficas**.

Criterios de selección:

Riqueza: 50 galaxias con magnitudes entre m_3 y m_3+2 (m_3 es la magnitud de la tercera galaxia más brillante del grupo/cúmulo).

Compacticidad: al menos 50 galaxias miembros en un radio de 1.5 Mpc

- Identificó 2712 cúmulos (error 10%)



CATÁLOGOS DE CÚMULOS: Cúmulos de Zwicky (1961-1968)

- La densidad de galaxias es 2 veces la densidad del campo local.
- 50 galaxias entre m_1 y m_1+3
- No tiene límite de distancia ni z
- Identificó cúmulos mas débiles que Abell
- **Identificó 9700 cúmulos**
- Problema: el criterio de densidad tiene problemas con el borde de las placas.

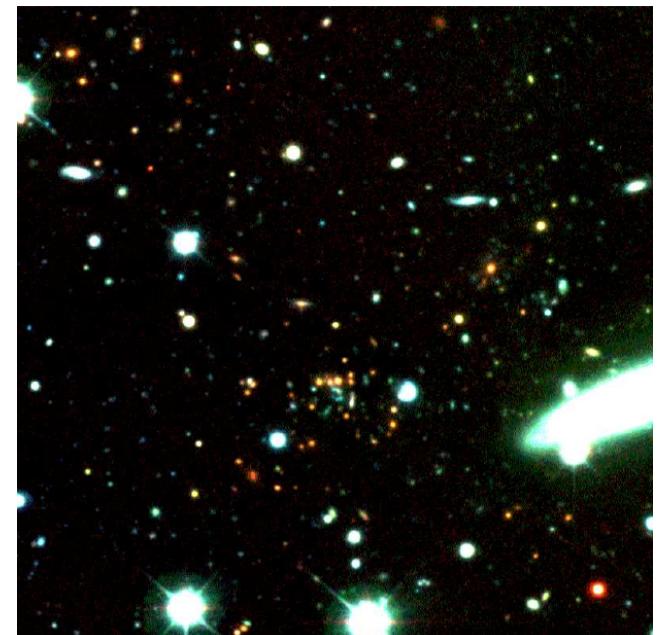
Otros catálogos de cúmulos

- Catálogo de Shectman (1985): 646 cúmulos
- **Catálogo ACO (1989): H. Sur: 1635 cúmulos**
- Catálogo EDCC (1992): 769 cúmulos
- APM (1994): 957 cúmulos
- Cúmulos 2dFGRS (2000)  (Relevamientos con z)
- Cúmulos SDSS

Identificación de cúmulos: Método de secuencia roja

(Gladders 1998)

- Se buscan cúmulos utilizando la **secuencia roja de las galaxias E**.
- **Es muy eficiente para cúmulos ricos**
- Es la relación color-magnitud, que se atribuye a un efecto de edad y metalicidad de las E.
- Es un buen indicador de z



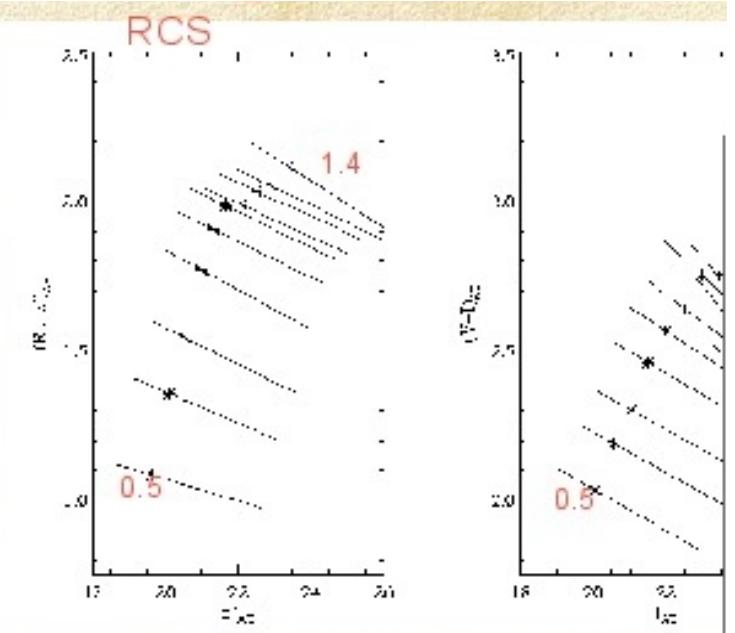
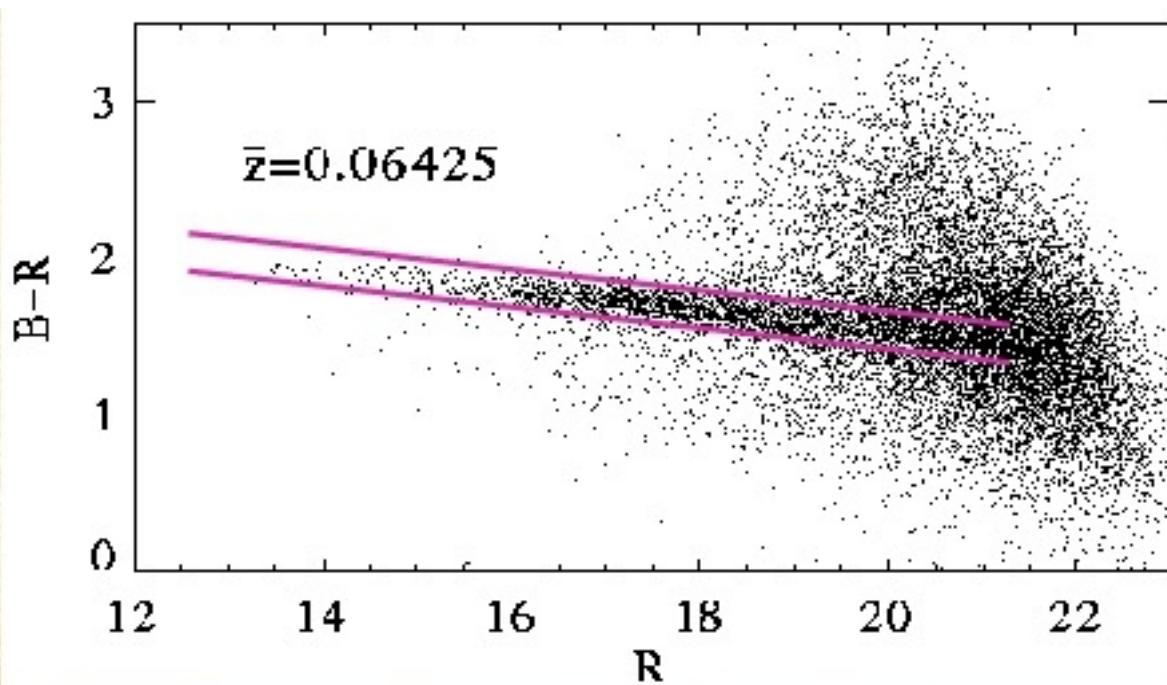
Método de secuencia roja

(Gladders & Yee 2000)

A partir de muestras numerosas de galaxias.

Sólo se requiere observación en dos filtros.

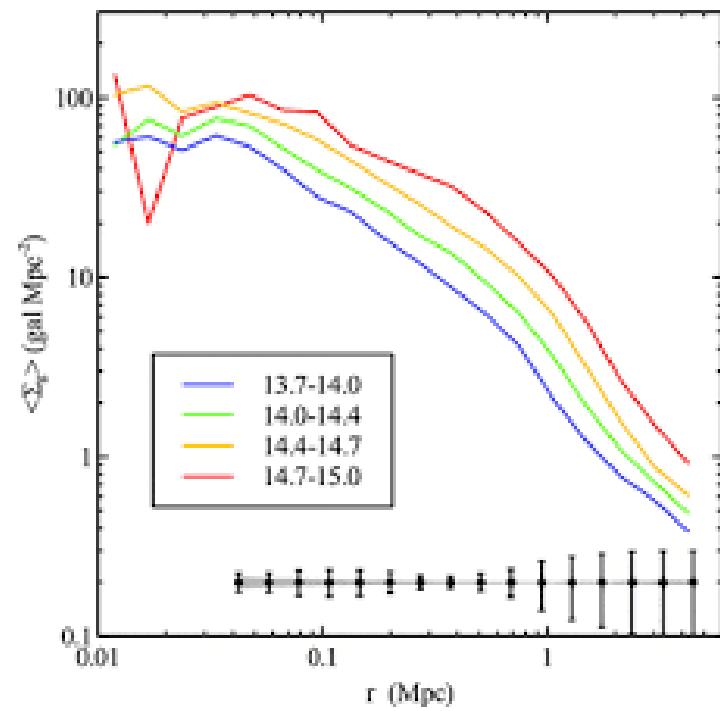
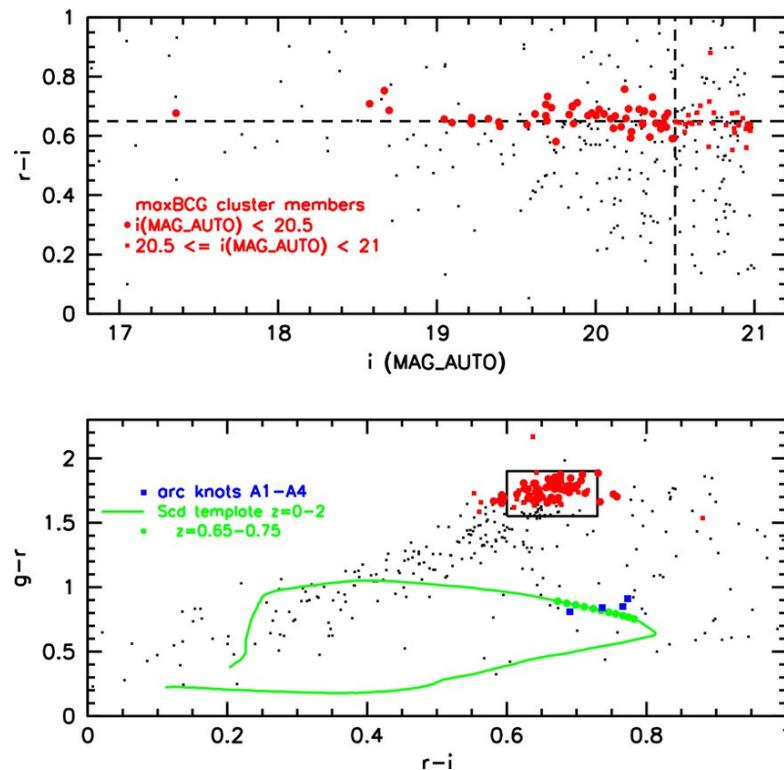
Se puede estimar el z del cúmulo.



Magnitude

Método MaxBCG

- Se seleccionan galaxias con características particulares:
 - alta luminosidad y masa
 - morfología temprana (tipo cD)
- Se analiza la distribución de galaxias compañeras alrededor de la galaxia seleccionada
- **Se obtienen cúmulos ricos.**



- Se suele usar combinado con el método de secuencia roja.

Búsqueda de grupos/cúmulos: Algoritmo *Friends of Friends* (FOF)

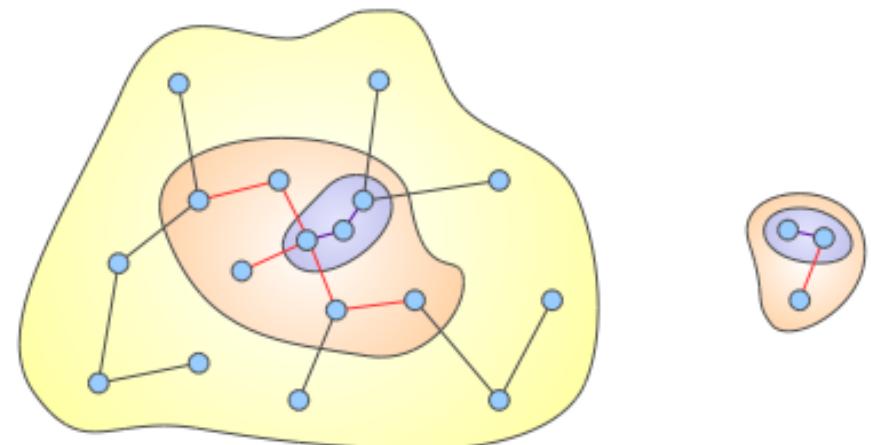
Desarrollado por Huchra & Geller (1982)

- A partir de una muestra numerosa de galaxias con mediciones de z .
- Calcula la **longitud de percolación** de manera de tener en cuenta la conexión entre los objetos del grupo/cúmulo en un rango de *redshift*, considerando un corte en magnitud aparente de la muestra.
- **Se obtienen desde grupos de pocos miembros hasta cúmulos.**
- Busca compañeras dentro de un rango de distancia proyectada y ΔV .

$$\left. \begin{aligned} D_{12} &= 2 \sin\left(\frac{\theta_{12}}{2}\right) D \leq D_L : \\ V_{12} &= |V_1 - V_2| \leq V_L \end{aligned} \right\}$$

Asocia galaxias cercanas en distancia proyectada y diferencia de velocidad

¿Cómo medimos la distancia?
→ Hoog (2000)



Distribución de velocidades

- La velocidad radial de las galaxias se distribuyen alrededor de la $\langle v_r \rangle$ media
- La dispersión de velocidad es:

$$\sigma_r = \langle (v_r - \langle v_r \rangle)^2 \rangle^{1/2}$$

- La distribución de velocidad radial se caracteriza por una gaussiana:

$$p(v_r)dv_r = \frac{1}{\sigma_r \sqrt{2\pi}} \exp(-(v_r - \langle v_r \rangle)^2 / 2\sigma_r^2)dv_r \quad \rightarrow \text{coincide con la observada}$$

$p(v_r)dv_r$ es la probabilidad que una galaxia individual en un cúmulo tenga v_r en el rango v_r y $v_r + dvr$

- Para galaxias con velocidades altas se considera:

$$(|v_r - \langle v_r \rangle| > 3\sigma_r) \quad \rightarrow \text{son excluidas}$$

Dispersión de velocidad media en cúmulos de galaxias $\sim 1000 \text{ km/s}$

 No favorece las interacciones

Masa de los cúmulos

- Estimas de masa total en cúmulos:
 - Vía óptico
 - Vía rayos X
 - Lentes gravitacionales
- Las primeras estimas de masa fueron calculadas por Zwicky & Smith (1936)



Similares errores

Cada método presenta diferentes ventajas y dificultades.

Los tres métodos proveen similares proporciones de materia oscura en los cúmulos.

Determinación de masa: vía óptico

- Se asume que el sistema esta **contenido por gravedad**, es decir que está ligado por la fuerza de gravedad:

$$E = T + W < 0$$

Si asumimos que la **distribución en el cúmulo es estacionaria**, se puede poner un fuerte condicionamiento, y es el teorema del virial:

$$2T + W = 0$$

Con T y W:

Considerando a partir de la
ecuación del movimiento
 $d^2\mathbf{I}/dt^2 = 0$

$$T = 1/2 \sum_i m_i v_i^2$$

$$W = -1/2 \sum_{i \neq j} \frac{G m_i m_j}{r_{ij}}$$

Si $M_{tot} = \Sigma m_i$ podemos definir la **dispersión de velocidades pesada por masa**:

$$\langle v^2 \rangle = \Sigma m_i v_i^2 / M_{tot}$$

y el **radio gravitacional**:

$$R_G = 2M_{tot}^2 \left[\sum_{i \neq j} m_i M_j / r_{ij} \right]^{-1}$$

El **teorema del virial** queda:

$$M_{tot} = \frac{R_G \langle v^2 \rangle}{G}$$

Podemos evaluar $\langle v^2 \rangle$ y R_G a partir de la distribución radial de velocidades y de la proyección de la distribución de las galaxias del cúmulo.

Considerando: $\langle v^2 \rangle = 3\sigma_r^2$ 1000 km/s y $R_G = 1\text{Mpc}$, se encuentran valores típicos de Masa Total $\sim 10^{15} \text{ Mo}$

Relación masa/luminosidad

- La luminosidad total típica de un cúmulo = $10^{13} L_\odot$

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle M/L \rangle_0 = 1 \\ \langle M/L \rangle^* = 1-3 M_\odot/L_\odot \\ \langle M/L \rangle_{\text{galaxia}} = 3-30 M_\odot/L_\odot \quad (\text{Es mayor en galaxias E que en S}) \\ \langle M/L \rangle_{\text{cúmulo}} = 300 M_\odot/L_\odot \quad (\text{depende de la banda y del cúmulo}) \end{array} \right.$$

- Solo el 10% de la masa de los cúmulos corresponde a galaxias
→ problema de la *missing mass* !!!

- ¿Son seguras las determinaciones de masa?

Para cúmulos no relajados, podría disminuir la masa

Podría haber contaminación de galaxias de fondo

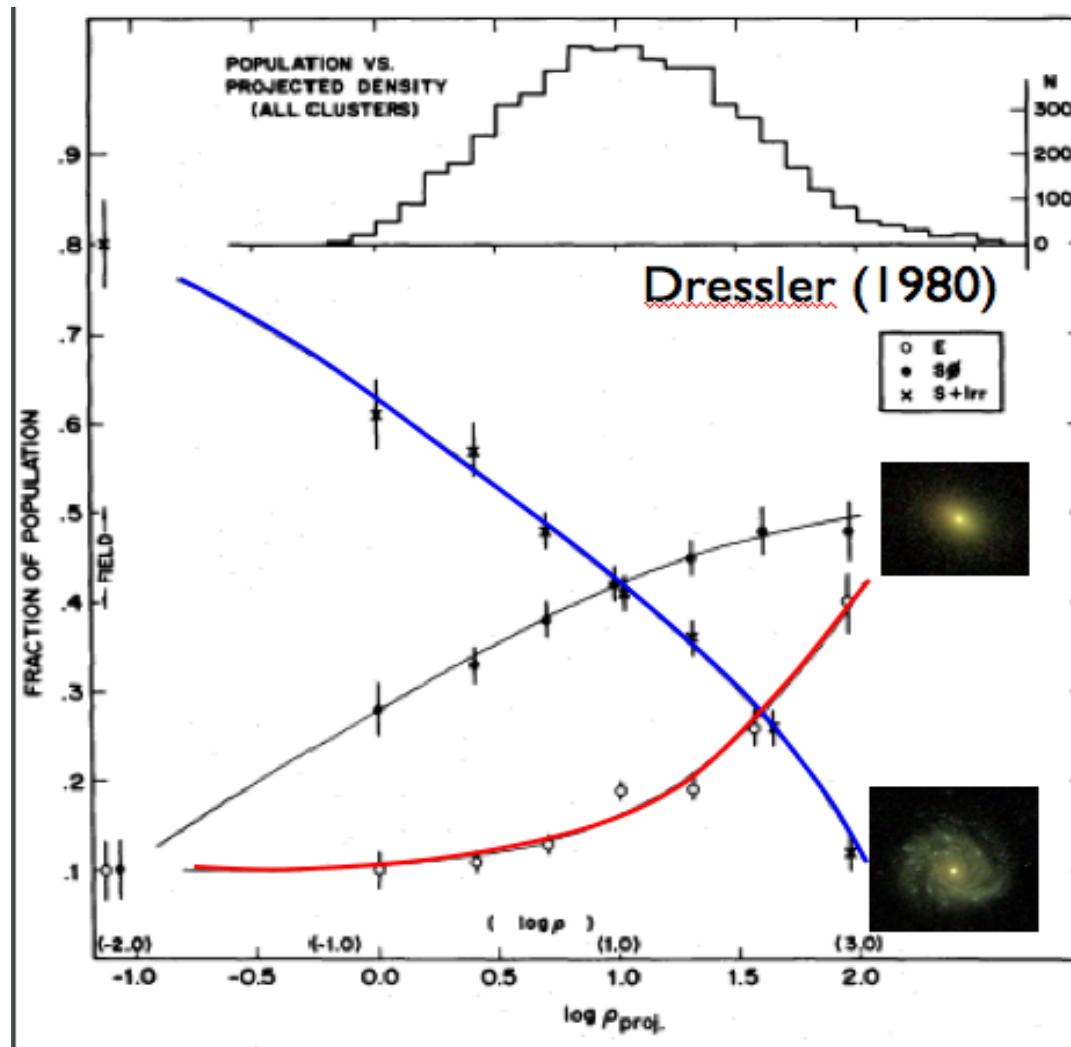
¿Que podría ser la masa invisible?

- Galaxias de baja luminosidad → luz difusa
- Si incluimos la luz difusa la $\langle M/L \rangle$ no cambia mucho
- Estudios en distintas bandas muestran que la DM no es gas, ni granos de polvo, ni estrellas luminosas ???
- Podría ser:
 - { masas subestelares (estrellas $M < 0.1 M_\odot$)
 - remanentes de estrellas (BH, estrellas de neutrones)
 - partículas elementales estables** → **BÚSQUEDA DE LA PARTÍCULA !!!**
- **¿Dónde está localizada?**

Parece estar distribuida en forma homogénea y uniforme

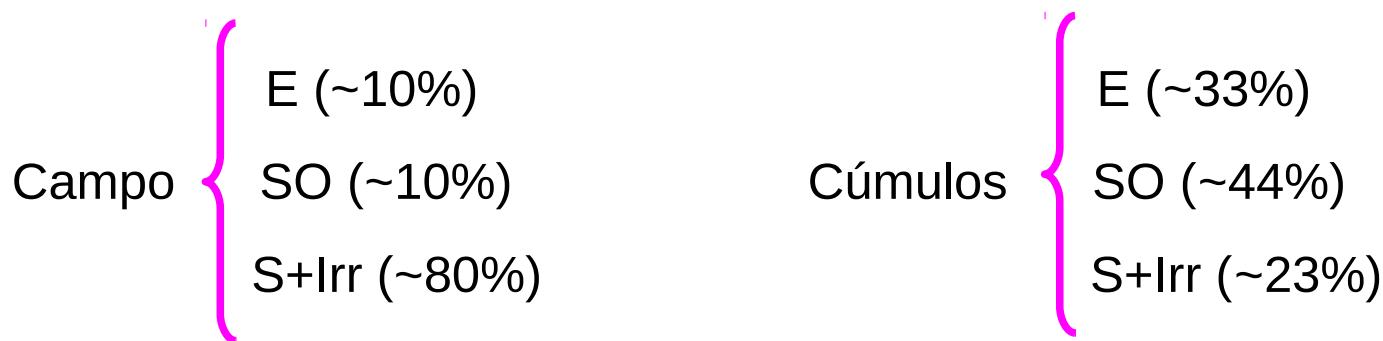
Morfología de galaxias en cúmulos

Relación morfología-densidad Dressler (1980)



Morfología de galaxias en cúmulos

- Los tipos morfológicos en cúmulos son los mismos que en el campo (**salvo las cD**)
- Varian las proporciones (Dressler 1980)



Mecanismos para perder gas en los cúmulos:

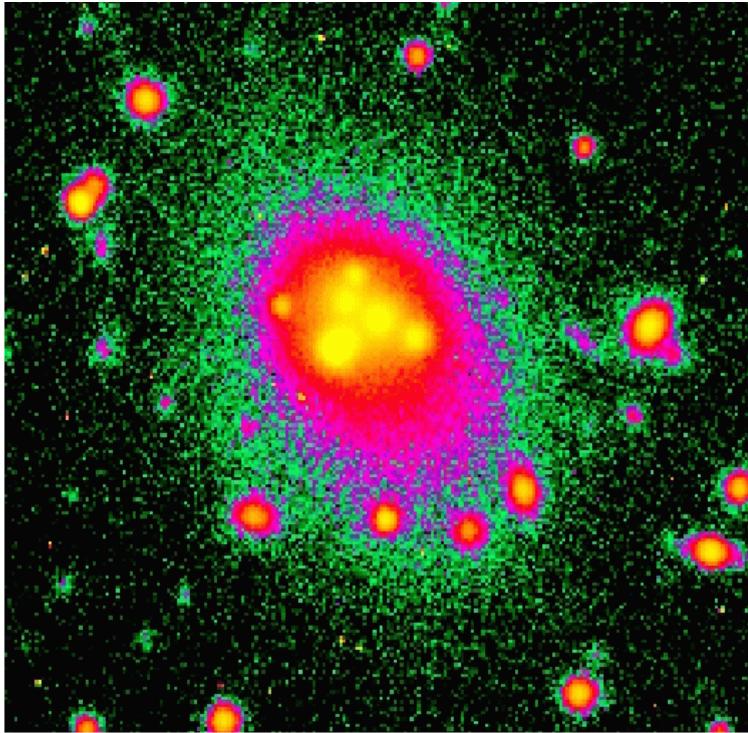
- **Ram pressure**: Ram pressure: $P_{\text{ram}} = \rho_{\text{gas}} * V^2$
- **Streaming**: Producido por efecto *tidales* debido a interacciones
- **Shaking** (sacudida): produce un re-acomodamiento de la materia que cambia la morfología, también por efectos *tidales*.
- **Galaxy Harassment**: transformación morfológica de galaxias enanas, con posible acreción de subestructuras.

Galaxias cD



- Galaxia mas brillante de los cúmulos.
- $M_v = -23.7$ y extensión de hasta 300 Kpc.
- El radio de *core* es mas grande que el de las elípticas.
- Halo extendido de bajo brillo superficial.
- 80% de las cD están en el pico de densidad del cúmulo.
- El pico en X generalmente coincide con la galaxia.
- Mecanismo de formación: ¿canibalismo galáctico?

Galaxias cD

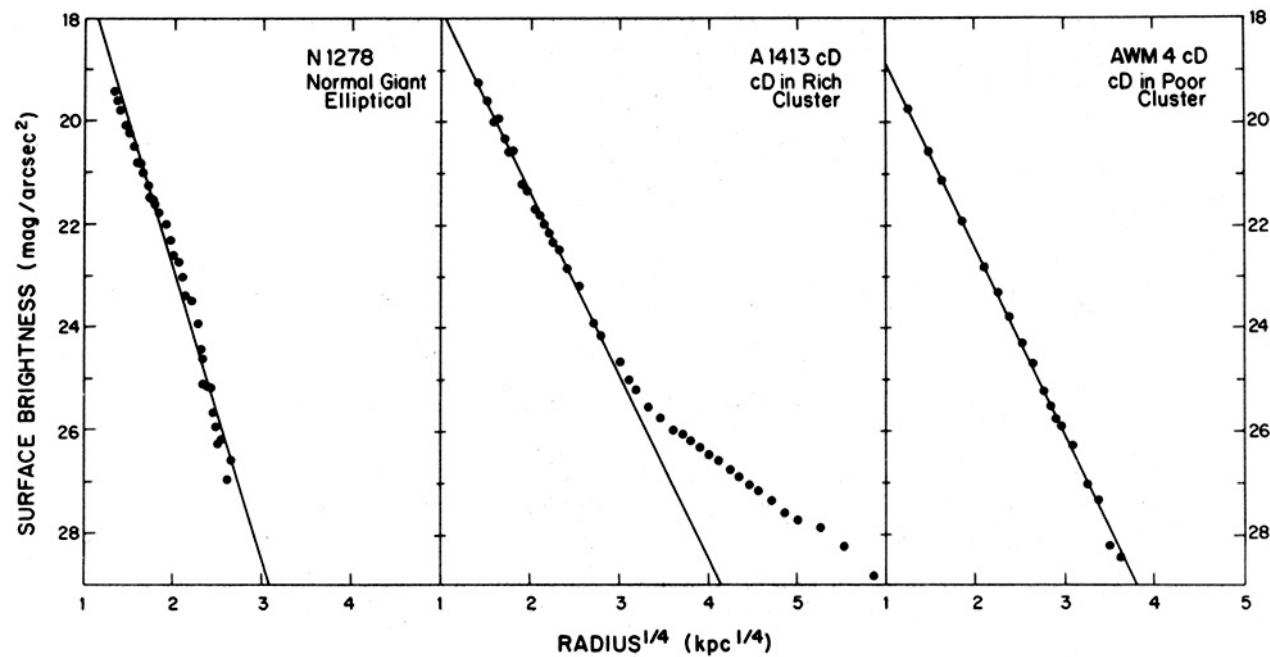


Los núcleos múltiples dan indicios de canibalismo galáctico (acreción de galaxias)

Perfil de brillo superficial
Ley de Vaucouleurs (1959):

- ley $r^{1/4}$ (de Vaucouleurs 1948)
- Galaxias E

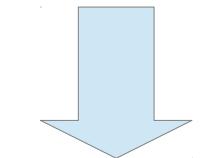
$$I(r) = I_e \exp \left\{ -7.67 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \right\}$$



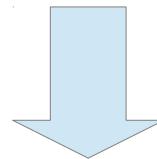
Los perfiles de las galaxias cD se apartan de la relación $r^{1/4}$.

**¿HAY ESTRUCTURAS MAS
GRANDES QUE LOS CÚMULOS
DE GALAXIAS?**

¿HAY ESTRUCTURAS MAS GRANDES QUE LOS CÚMULOS DE GALAXIAS?



SI



LOS SUPERCÚMULOS DE GALAXIAS
(son estructuras no virializadas)

SUPERCÚMULOS DE GALAXIAS

- Abell: los cúmulos están *clusterizados* en segundo orden
 - **supercúmulos**
- Contienen miles de galaxias
- Escalas típicas $\sim 50 - 100$ Mpc
- Irregulares en forma y no bien definidas las fronteras
- El $\sim 50\%$ de los cúmulos podrían estar en supercúmulos

Supercúmulo local LANIAKEA

(Del Hawaiano: Iani (cielo); akea (incommensurable))

Es el supercúmulo en el que está ubicado el Grupo Local.

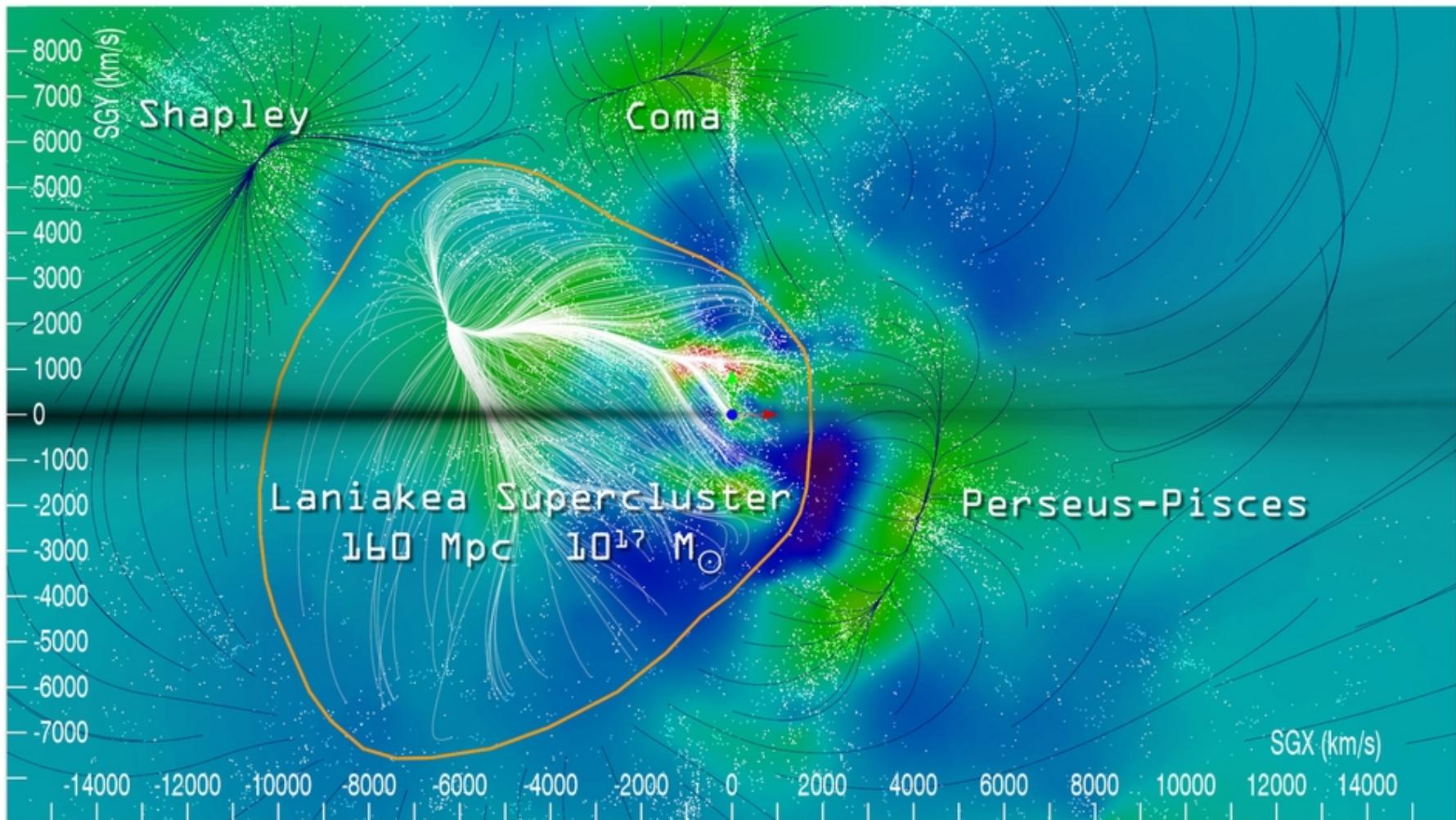
Fue descripto en **2014** por científicos de la **Universidad de Hawái**, dirigidos por **Brent Tully (Tully et. al. 2014)**.

Según los datos disponibles en el momento se pudo determinar que:

- Incluye 13 cúmulos tipo Abell.
- Los flujos locales convergen hacia los cúmulos de Norma y Centaurus, hacia una región denominada el **gran atractor**.
- Si la región se aproxima como redonda tiene un diámetro ~160 Mpc.
- Contiene 10^{17} Mo

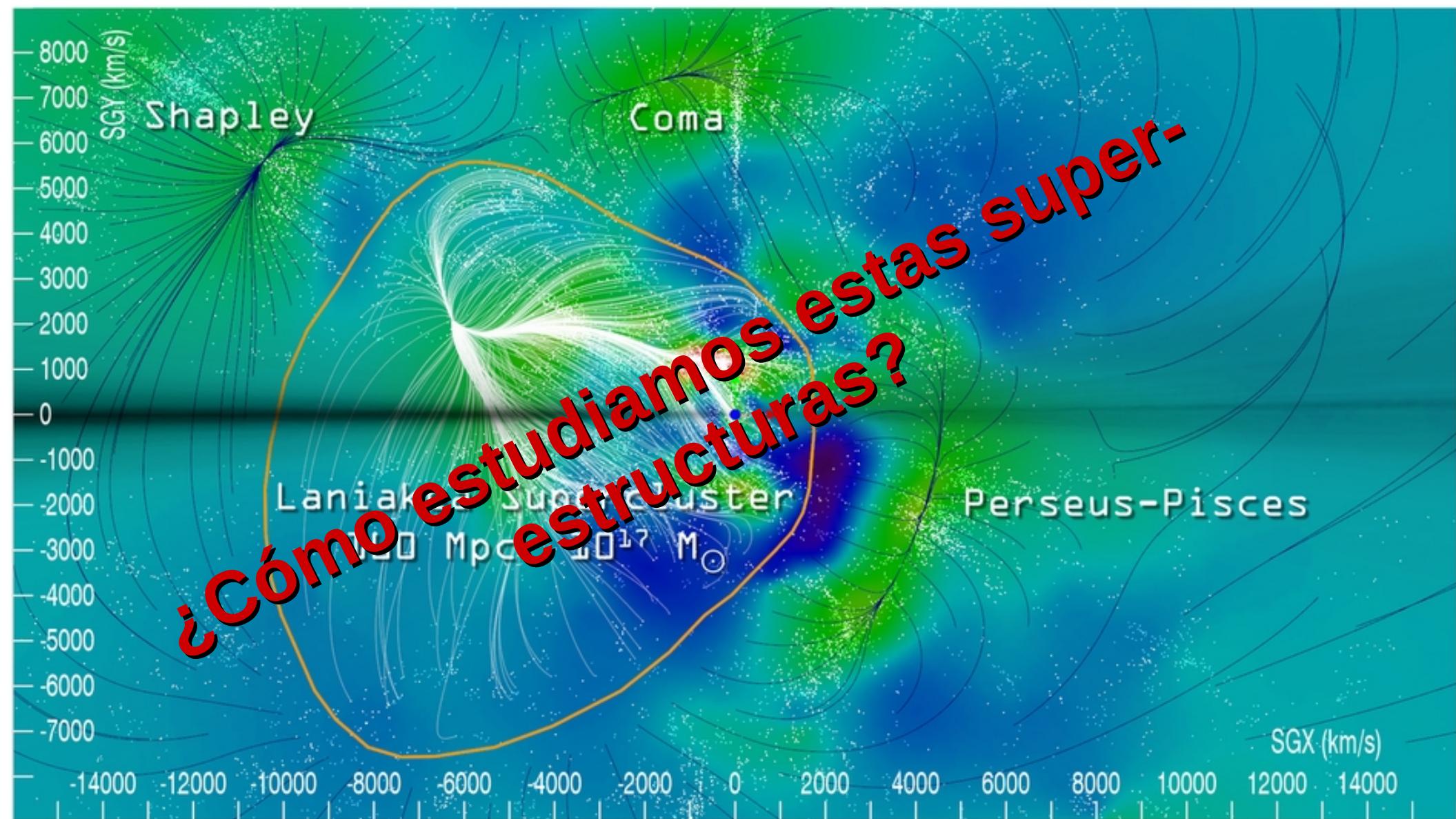
Supercúmulo local LANIAKEA

(Del Hawaiano: Iani (cielo); akea (incommensurable))



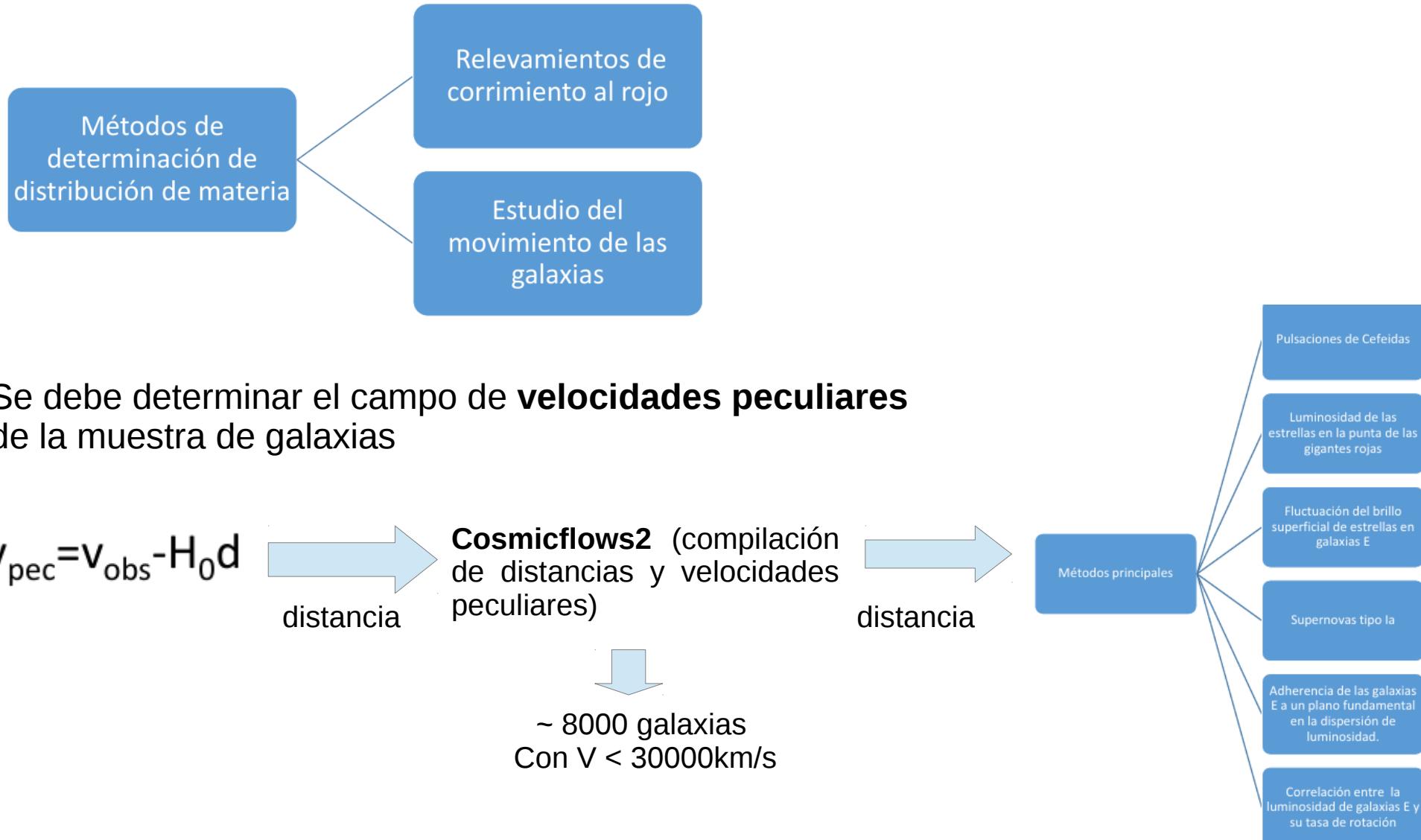
Una porción de Laniakea en el plano ecuatorial supergaláctico. Los contornos sombreados representan valores de densidad: con rojo en densidades altas y azul los vacíos. Las galaxias individuales son los puntos blancos. Las corrientes de flujo de velocidad dentro de la cuenca de atracción Laniakea se muestran en blanco. El contorno naranja encierra los límites exteriores de estas corrientes (Tully et. al. 2014).

¿Cómo estudiamos estas super-estructuras?



¿Cómo estudiamos estas superestructuras?

Análisis estadísticos: grandes relevamientos de galaxias.



Calculo del campo de velocidades

En cada posición del espacio se calculan las componentes del tensor velocidad (campo de velocidad, filtro de Wiener) y se pueden obtener 4 posibilidades a partir del calculo de la divergencia del campo:

1) Flujo hacia adentro en los 3 ejes

→ condición de grupo.

2) Flujo hacia adentro en 2 ejes y hacia afuera en el tercero

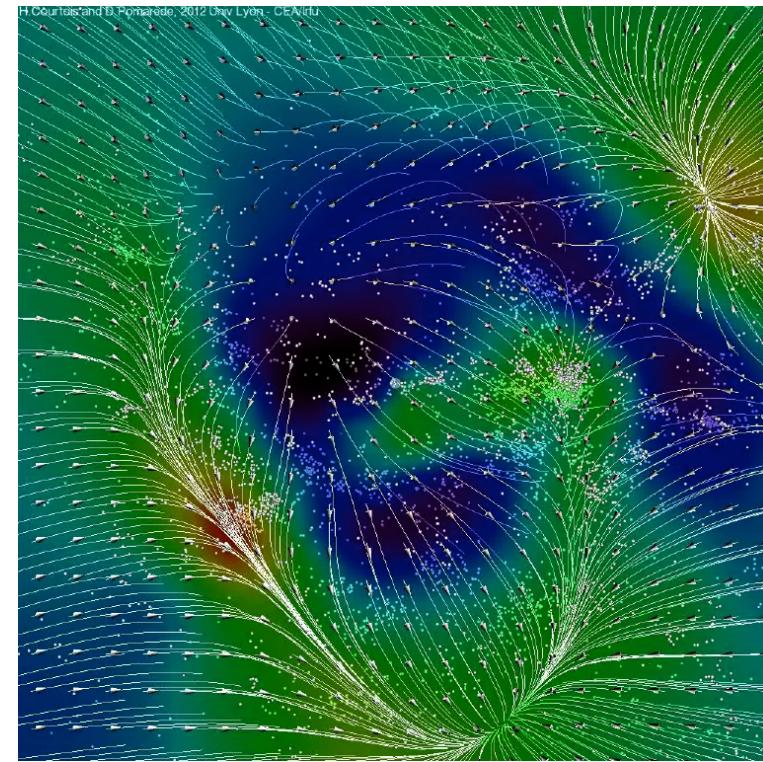
→ condición de filamento.

3) Flujo hacia adentro en un eje y hacia afuera en 2

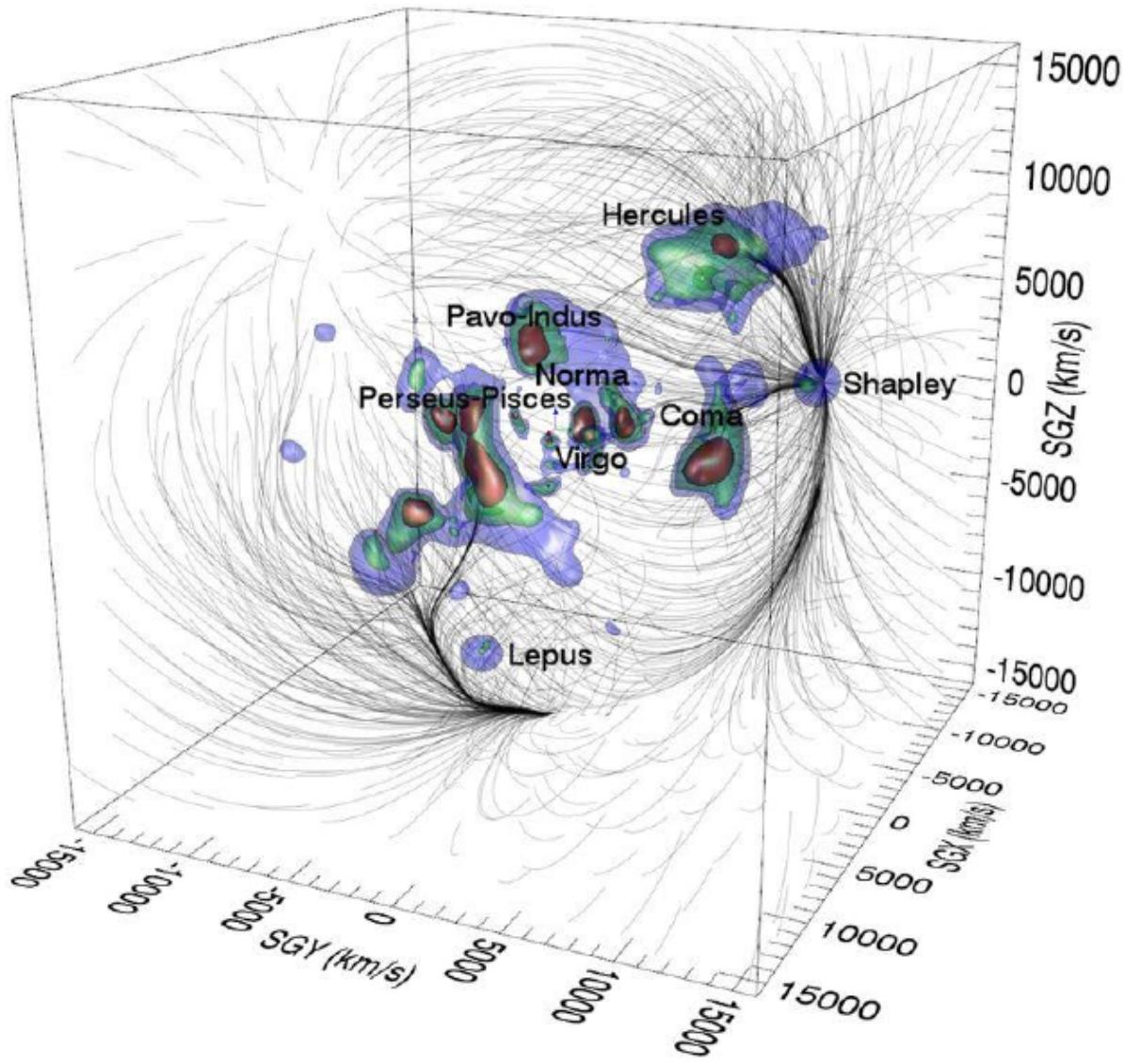
→ condición de hoja.

4) Flujo hacia afuera en los 3 ejes

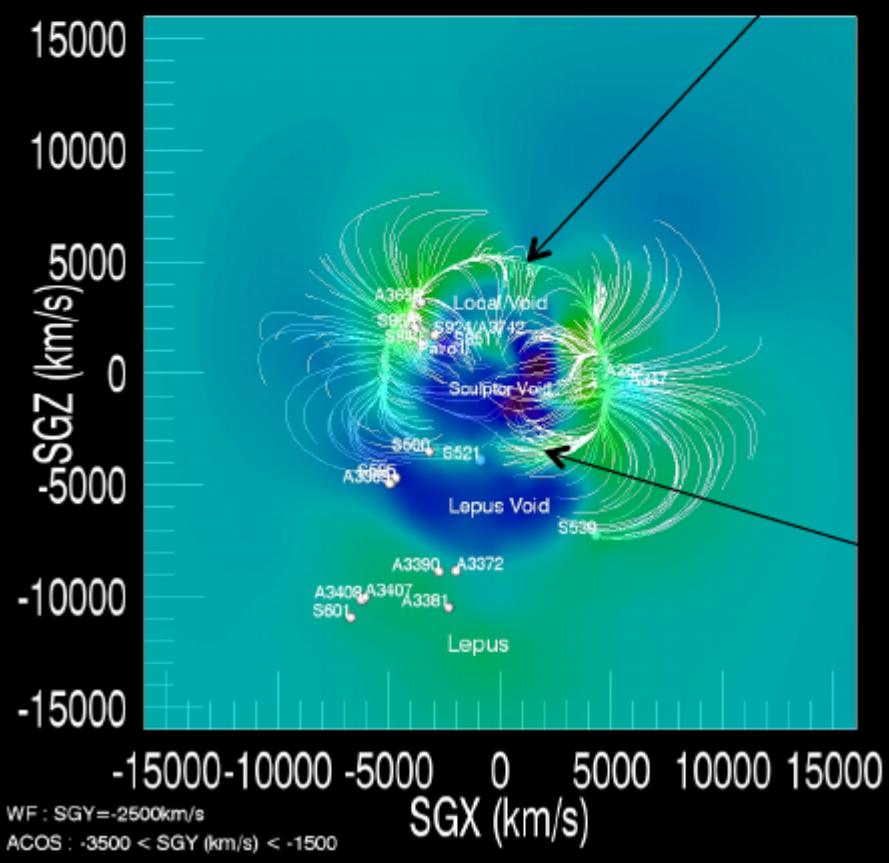
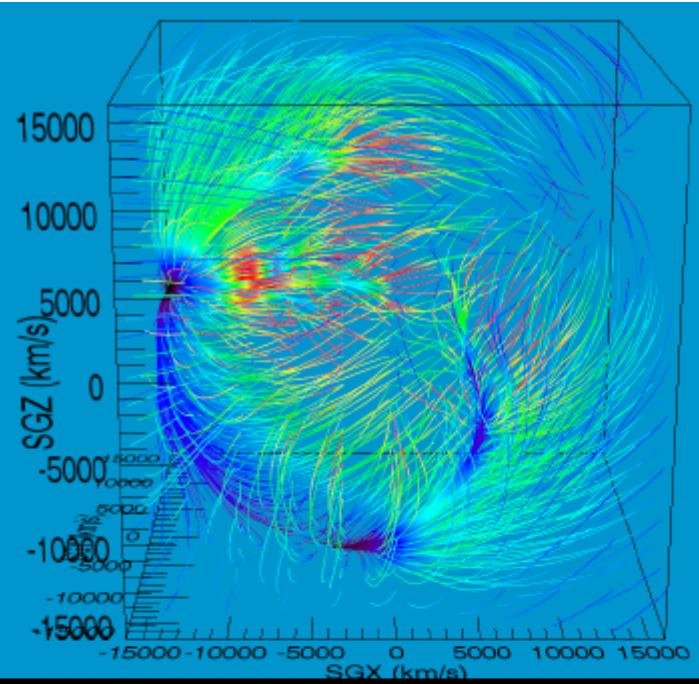
→ condición de vacío.



Courtois, Pomarede, Hoffman
2013, AJ,146, 69
Expulsion from the Local Void.

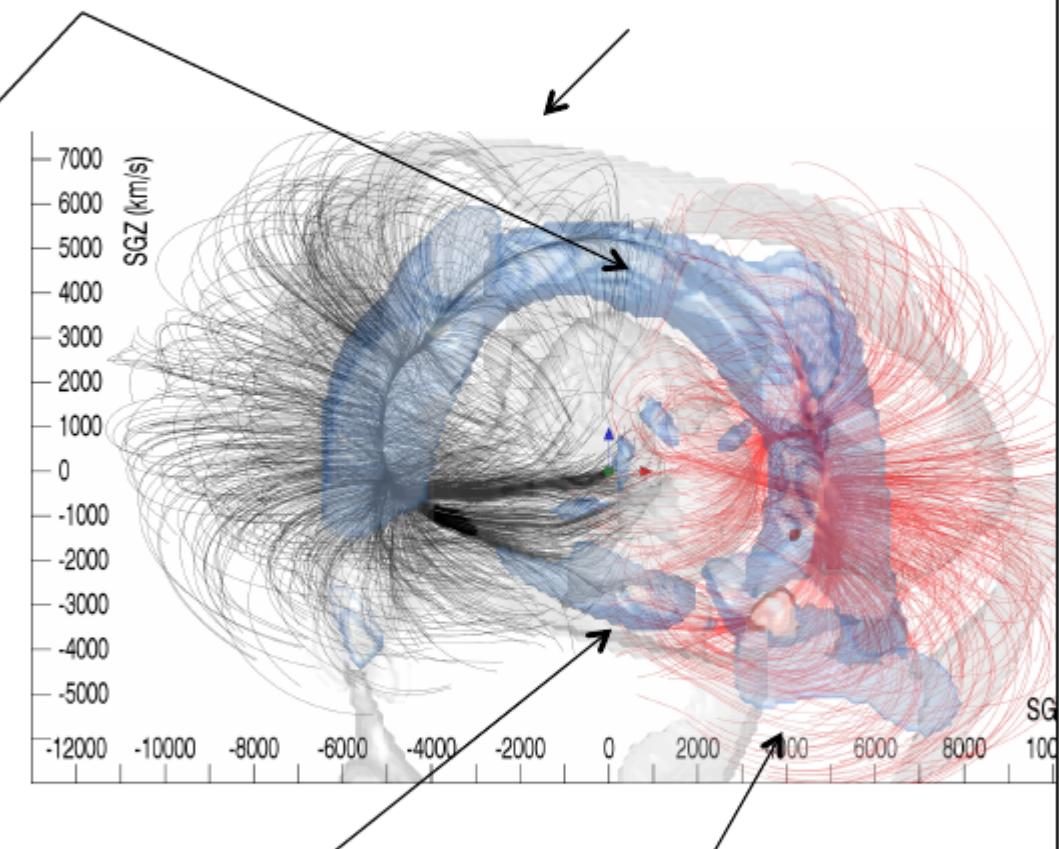


Las líneas negras representan el flujo de velocidades obtenido con el filtro Wiener. Los contornos representan el campo de sobredensidad. Tully et. Al. 2104.



"Arch"

Laniakea



Perseus-Pisces

Antlia Wall Extension