

# The place of the Milky Way and Andromeda in the cosmic web

Sebastian Bustamante Jaramillo

Grupo de Física y Astrofísica Computacional, FACom

Instituto de Física - Universidad de Antioquia

Asesor: Jaime Forero – Universidad de los Andes

Co-asesor: Jorge Zuluaga – Universidad de Antioquia

21 de marzo de 2013



## Tabla de Contenidos

- 1 Motivación
- 2 Construcción de las Simulaciones
- 3 Resultados

## Motivación

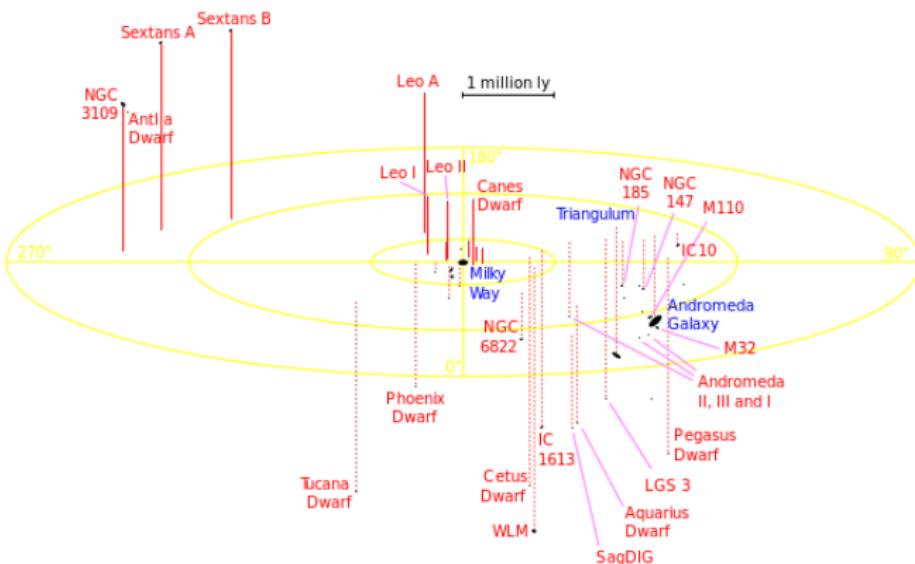
1 Gpc/h

20 Mpc/h

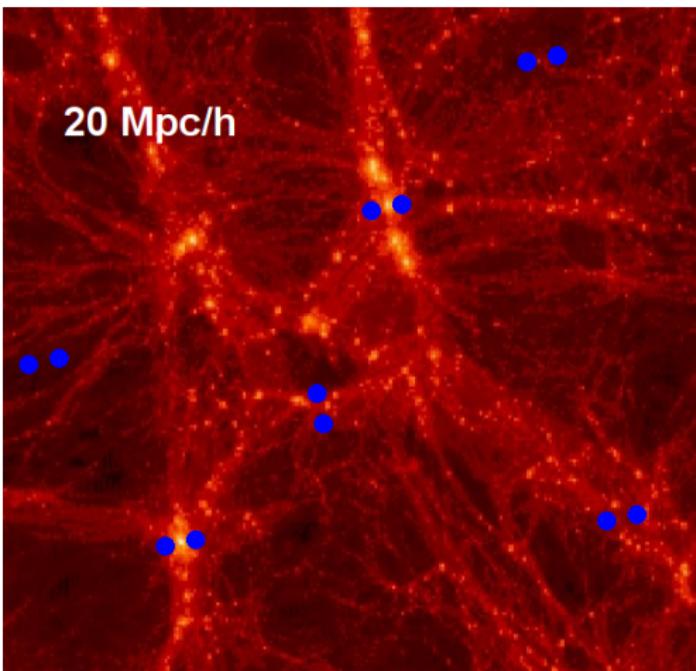
## Motivación

- Cuantificar la estructura de la red cósmica y reproducir su apariencia visual.
- En trabajos recientes se han realizado estudios de la influencia del entorno en propiedades físicas de halos de materia oscura.
- Extender este tipo de estudios a sistemas como el grupo local.
- Identificar sistemas tipo grupo local en simulaciones cosmológicas de materia oscura.
- El grupo local de galaxias es el sistema a escala cosmológica mejor conocido.
- Algunos tests del modelo de concordancia  $\Lambda CDM$  son realizados en el grupo local.

## Motivación



## Motivación

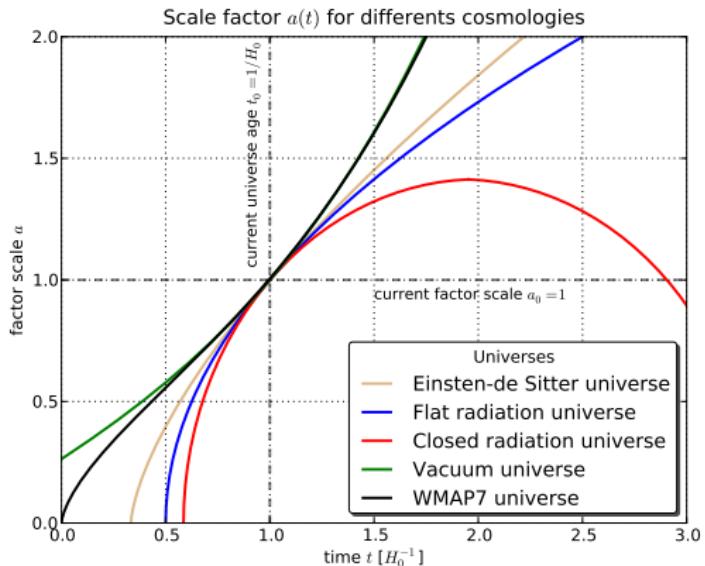


## Construcción de las Simulaciones: Resumen

- Debido a las grandes escalas espaciales y temporales involucradas en la evolución y dinámica del universo, se usan simulaciones numéricas como laboratorios naturales.
- La principal condición que deben satisfacer estos universos simulados es reproducir las observaciones.
- Se asume como modelo de universo el modelo cosmológico estándar  $\Lambda$ CDM.

## Construcción de las Simulaciones: Régimen Lineal

A muy grandes escalas, se asume que el universo es homogéneo e isotrópico, satisfaciendo las soluciones de Friedman para las ecuaciones de campo de Einstein.

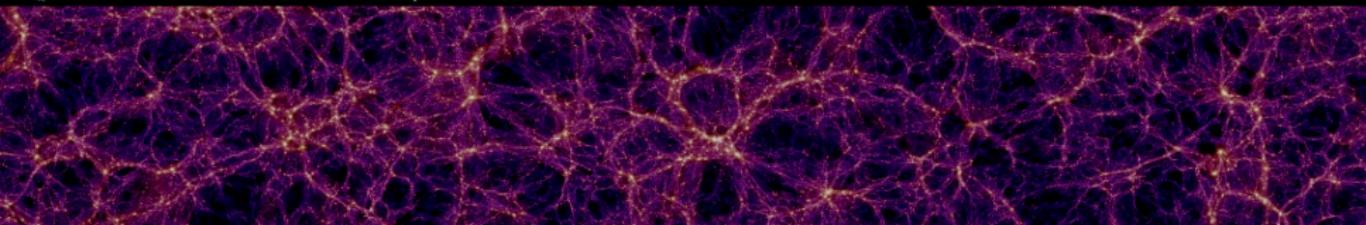


## Construcción de las Simulaciones: Régimen Lineal

- A partir de observaciones de supernovas distantes y galaxy redshift survey se ha establecido la consistencia del universo real con los modelos de Friedman (universo en expansión acelerada y uniforme).
- Lo anterior solo es válido en escalas grandes, siendo nosotros la principal prueba en contra de la condición de isotropía y homogeneidad.
- Se hace evidente que es necesario introducir perturbaciones en la solución de fondo.

## Construcción de las Simulaciones: Régimen Lineal

- En estudios tempranos del universo, la distribución de materia y energía eran homogéneas, pero debido a las fluctuaciones cuánticas de vacío de los campos presentes y el periodo de inflación cósmica, se producen pequeñas perturbaciones de densidad.
- El tiempo en el cual las perturbaciones son pequeñas  $\delta\rho \ll \bar{\rho}$  es denominado régimen lineal de formación de estructuras.
- Este puede ser resuelto en una aproximación Newtoniana a partir de ecuaciones de fluidos.



## Construcción de las Simulaciones: Régimen Lineal

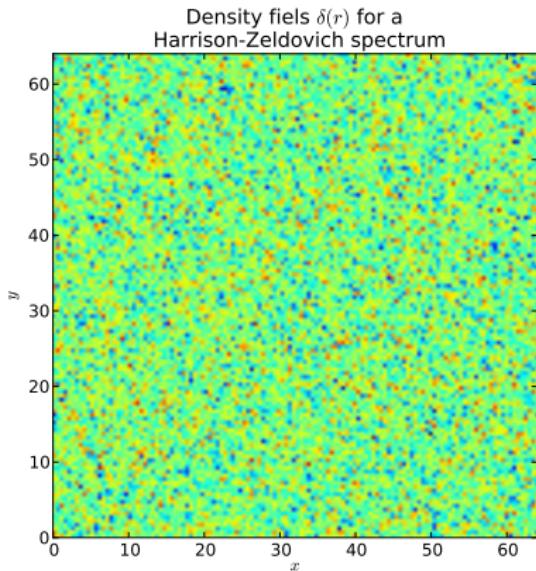
Los dos principales resultados del régimen lineal son:

1. Acorde al modelo inflacionario, los modos normales del campo de densidad primigenio  $\delta_k$  se distribuyen normalmente siguiendo un espectro de potencia de Harrison-Zeldovich.

$$g_k(r_k, \phi_k; t) = \frac{2(r_k dr_k)}{\sigma_k^2} \left( \frac{d\phi_k}{2\pi} \right) \exp \left( -\frac{r_k^2}{\sigma_k^2} \right); \quad \sigma_k^2 = 2\mu_k^2 \quad (1)$$

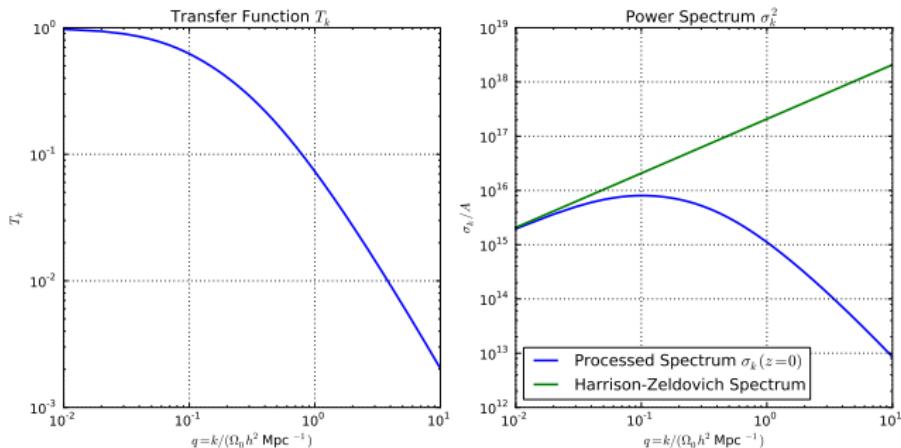
## Construcción de las Simulaciones: Régimen Lineal

### Distribución de Condiciones Iniciales



## Construcción de las Simulaciones: Régimen Lineal

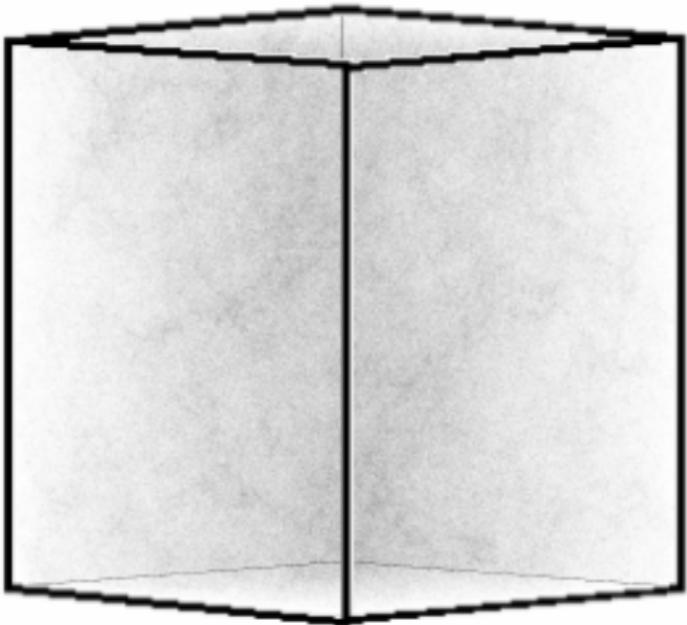
2. El segundo resultado es la obtención de la función de transferencia, la cual permite conocer la evolución del universo en régimen lineal



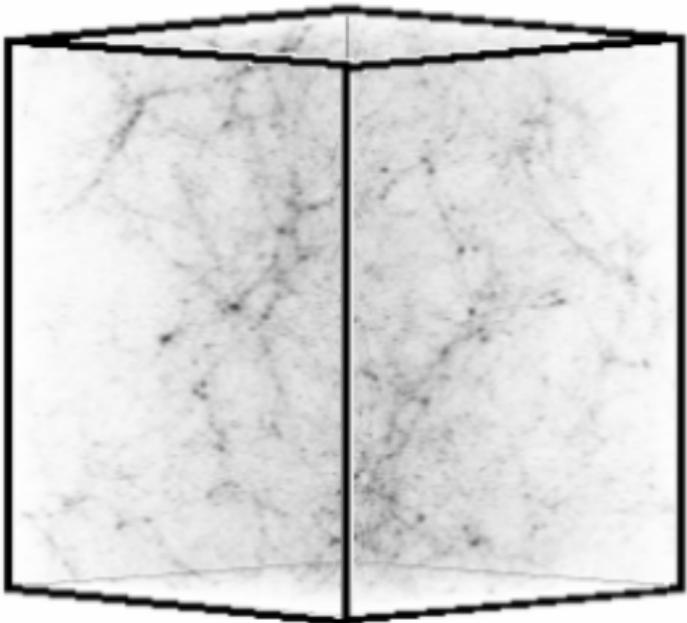
## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal

- A partir del colapso de Jeans, las perturbaciones crecen considerablemente respecto a la densidad media de fondo  $\delta\rho \gg \bar{\rho}$ .
- Este periodo del universo es conocido como régimen no lineal.
- Los procesos físicos involucrados ahora son altamente complejos, y un desarrollo analítico análogo al régimen lineal no es posible, necesitado de simulaciones numéricas.

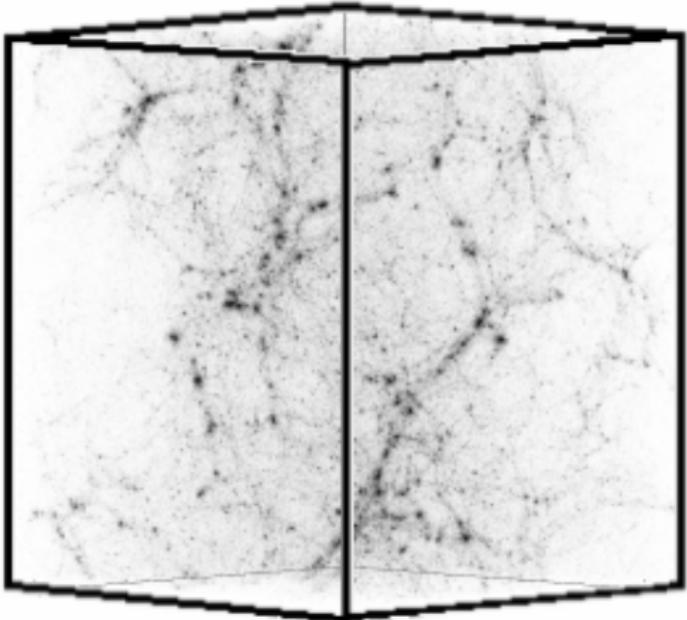
## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal



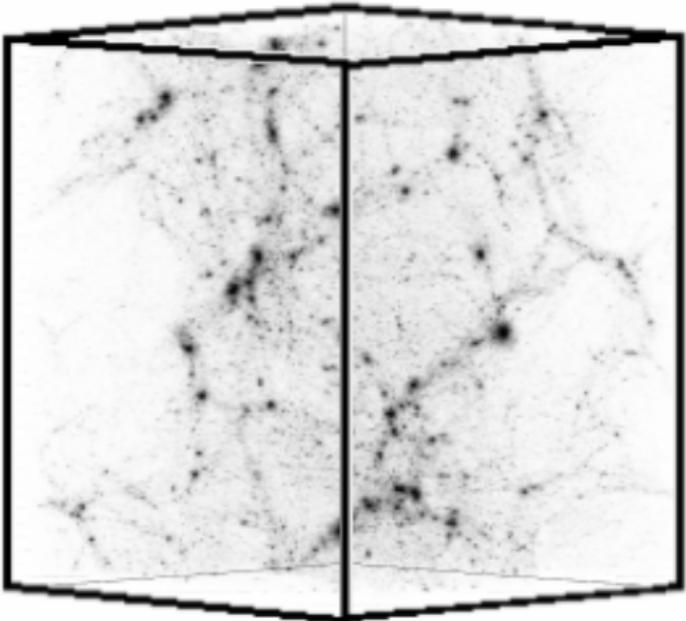
## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal



## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal



## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal



## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal

El régimen no lineal está caracterizado por dos principales propiedades

- Una estructura jerárquica de formación de estructuras, donde estructuras más pequeñas se forman primero y a partir de agrupación de estas se forman las más grandes.
- La aparición de la red cósmica, una estructura altamente inhomogénea y anisotrópica en escalas pequeñas ( $\sim$  Mpc), mientras es más homogénea e isotrópica a grandes escalas. Es caracterizada por filamentos que se unen en nodos de alta densidad, y permeada por regiones de alto vacío.

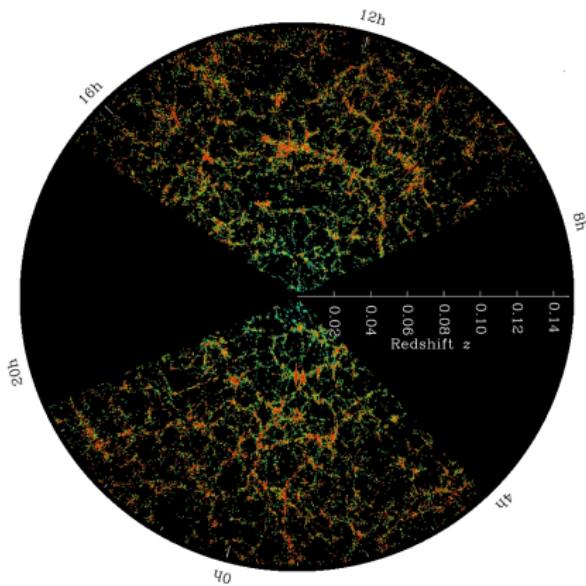
## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal

1 Gpc/h

20 Mpc/h

## Construcción de las Simulaciones: Régimen No Lineal

La red cósmica ha sido también establecida a partir de redshift surveys (SLOAN digital sky survey)



## Construcción de las Simulaciones: Tipos de Simulación

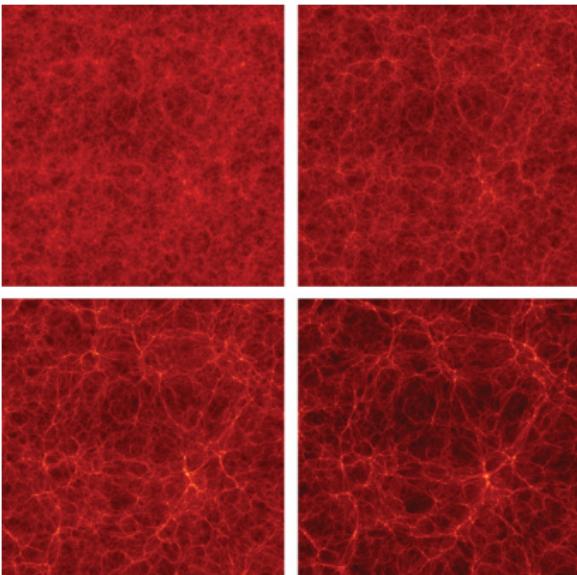
Acorde a la esquema de construcción de las condiciones iniciales, las simulaciones se catalogan en dos tipos

- **Simulaciones No Restringidas:** son aquellas en las que las condiciones iniciales son construidas de forma aleatoria (fase aleatoria) siguiendo la distribución gaussiana establecida en el régimen lineal. En este trabajo es usada la simulación Bolshoi.
- **Simulaciones Restringidas:** son aquellas en las que las condiciones iniciales son construidas para reproducir el universo local actual. Se usan tres simulaciones del proyecto CLUES.

## Construcción de las Simulaciones: Tipos de Simulación

### Simulación Bolshoi

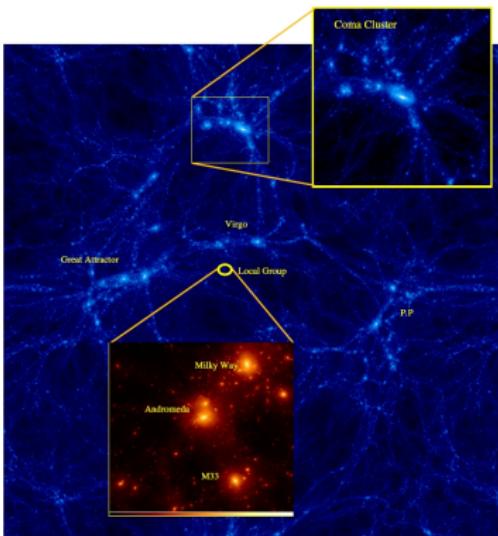
Esta es usada para aportar la estadística significativa debido a su tamaño mayor respecto a las simulaciones restringidas (  $250h^{-1}$  Mpc respecto a  $64h^{-1}$  Mpc de las CLUES).



## Construcción de las Simulaciones: Tipos de Simulación

### Simulación CLUES

Las tres simulaciones CLUES están construidas para reproducir el universo local actual, en especial puede ser identificado el grupo local con aproximadamente la misma distribución de estructuras vecinas.



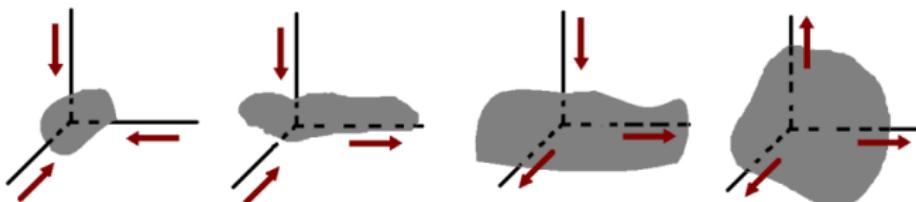
## Construcción de las Simulaciones: Cuantificación de la Red Cómica

La cuantificación de la red cósmica se hace a partir del esquema V-web, este hace uso del shear velocity tensor definido por:

$$\Sigma_{ij} = -\frac{1}{2H_0} \left( \frac{dv_i}{dr_j} + \frac{dv_j}{dr_i} \right) \quad (2)$$

Los autovalores de este tensor determinan la naturaleza de colapso/expansión en las autodirecciones respectivas, esto permite construir un esquema de clasificación.

## Construcción de las Simulaciones: Tipos de Simulación



### Knots

$$\lambda_1 > \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_2 > \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_3 > \lambda_{\text{th}}$$

### Filaments

$$\lambda_1 > \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_2 > \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_3 < \lambda_{\text{th}}$$

### Sheets

$$\lambda_1 > \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_2 < \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_3 < \lambda_{\text{th}}$$

### Voids

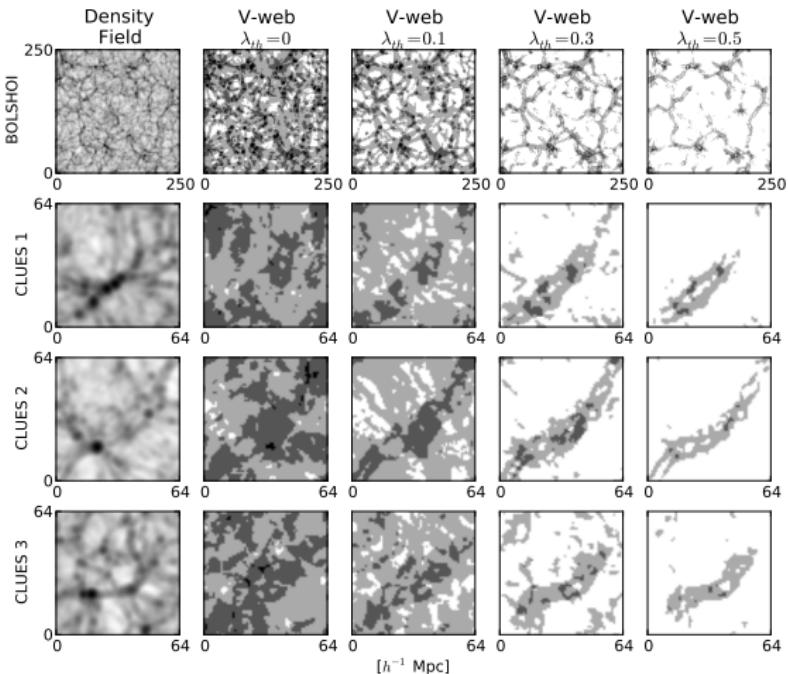
$$\lambda_1 < \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_2 < \lambda_{\text{th}}$$

$$\lambda_3 < \lambda_{\text{th}}$$

## Construcción de las Simulaciones: Tipos de Simulación

Acorde al valor umbral escogido  $\lambda_{th}$  se obtienen diferentes impresiones visuales de las simulaciones, siendo  $\lambda_{th} = 0,3$  la que más se asemeja al campo de densidad.



## Construcción de las Simulaciones: Definición de Muestras

Una vez caracterizado el entorno cosmológico de cada simulación, se procede a definir las muestras a usar.

- **General Halos [GH]:** Son todos los halos de materia oscura construidos a partir del esquema FOF (Friend of Friend).
- **Halos Individuales [IH]:** Son todos los halos de materia oscura en el rango de masa  $5,0 \times 10^{11} h^{-1} M_{\odot} - 5,0 \times 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$ . Este rango favorece la formación de galaxias de disco.
- **Pares [P]:** esta es construida a partir de la muestra *IH* y está compuesta por pares de halos que satisfacen el criterio de ser mutuamente el halo más cercano al otro.



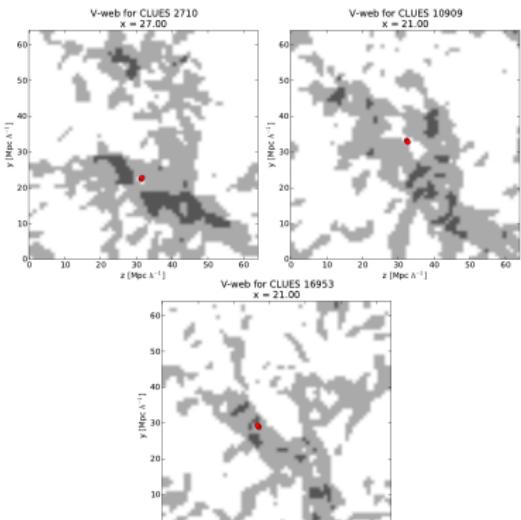
## Construcción de las Simulaciones: Definición de Muestras

- **Pares Aislados [IP]:** esta muestra se construye a partir de los sistemas en la muestra de pares que además satisfacen las siguientes condiciones
  - La distancia entre el centro de los halos debe ser menor a  $0,7h^{-1}$  Mpc, consistente con la distancia entre la Vía Láctea y Andrómeda.
  - La velocidad radial relativa entre ambos halos debe ser negativa.
  - No debe haber ningún objeto más masivo que alguno de los dos halos a una distancia menor que  $2,0h^{-1}$  Mpc de ambos.
  - No debe existir ningún objeto más masivo que  $5,0 \times 10^{13}h^{-1} M_{\odot}$  a una distancia menor que  $5h^{-1}$  Mpc respecto a ambos halos.
- **Grupos Locales [LG]:** esta muestra es definida en la simulaciones CLUES y corresponde a los pares de halos construidos a priori para la reproducción del grupo local. Por definición, solo existe un sistema *LG* por cada una de las tres simulaciones CLUES.

## Construcción de las Simulaciones: Definición de Muestras

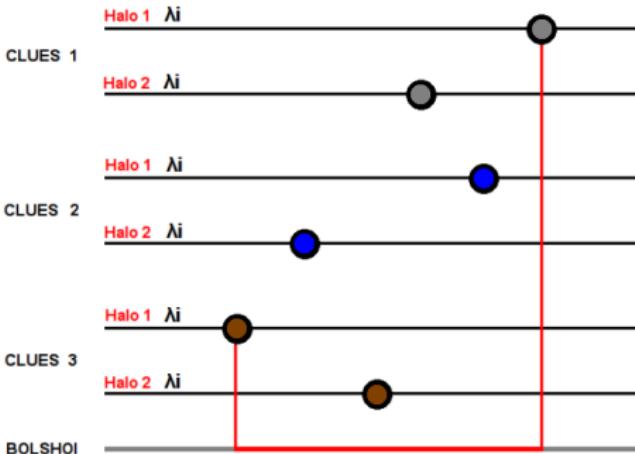
- **Grupos Locales Construidos [CLG]:** con el objetivo de obtener una muestra de sistemas tipo *LG* en simulaciones no restringidas, se propone un método de construcción basado en el entorno cosmológico de la muestra *LG* en las simulaciones CLUES. Para esto se calculan los 3 campos de autovalores del *shear velocity tensor* en una malla con resolución de  $1,0h^{-1}$  Mpc/celda y un suavizado Gaussiano de una celda.

## Construcción de las Simulaciones: Definición de Muestras



## Construcción de las Simulaciones: Definición de Muestras

### Definition of LG Sample



## Construcción de las Simulaciones: Definición de Muestras

Muestra	CLUES 1	CLUES 2	CLUES 3	Bolshoi
<i>GH</i>	56632	57707	56799	432000
<i>IH</i>	1493	1490	1493	88068
<i>P</i>	386	380	387	23037
<i>IP</i>	20	12	18	1256
<i>LG</i>	1	1	1	—
<i>CLG</i>	1	2	3	30

Cuadro: Tamaños de las muestras definidas para cada una de las simulaciones.

Muchas Gracias!