

Catálogo de cúmulos de galaxias en proceso de fusión.

Martín de los Rios

28 de julio de 2015

Directores:

Mariano Dominguez & Dante Paz

- 1 Motivaciones.
 - Bullet cluster
- 2 Mock.
 - Simulación Millenium
 - Modelo semi-analítico: De Lucia 2004, Croton et al. 2006
- 3 Test de identificación de subestructuras.
 - Test de Dressler-Shectman
 - Test de Dressler-Shectman iterativo.
 - Mixtura de gaussianas.
- 4 Resultados.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR3.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR8.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del 2DF.
- 5 Conclusiones

1 Motivaciones.

- Bullet cluster

2 Mock.

- Simulación Millenium
- Modelo semi-analítico: De Lucia 2004, Croton et al. 2006

3 Test de identificación de subestructuras.

- Test de Dressler-Shectman
- Test de Dressler-Shectman iterativo.
- Mixtura de gaussianas.

4 Resultados.

- Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR3.
- Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR8.
- Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del 2DF.

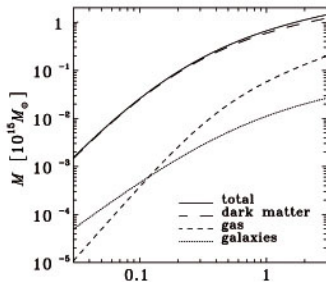
5 Conclusiones

Motivaciones

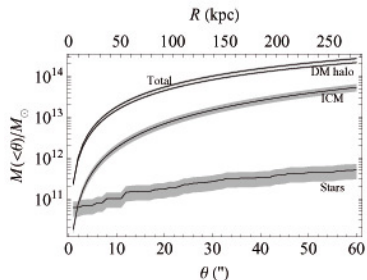
- El estudio de la dinámica de los cúmulos en colisión permite determinar algunas propiedades de la partícula de materia oscura.

Sistemas virializados

- Masa estimada a partir de la dinámica.



Cumulo de coma
Lokas et al. 2003



Cumulo AC 114
Sereno et al. 2008

Curvas de rotación de galaxias espirales

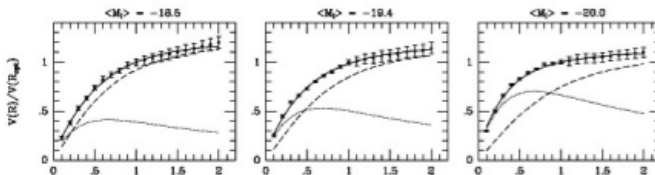


Figura : Salucci et al. (2007)

Lentes gravitacionales

- Masa estimada a partir de las deformaciones producidas por las lentes gravitacionales.

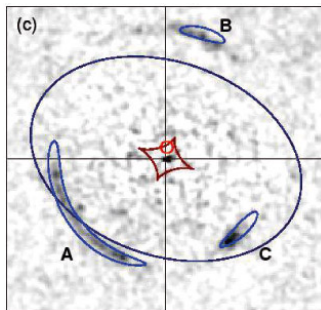


Figura : Smith et al. (2005)

Fondo cósmico de microondas

- A través del ajuste los multipolos se pueden estimar algunos parámetros cosmológicos, como por ejemplo la densidad de materia.

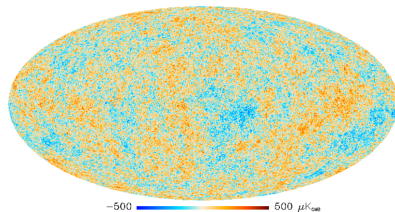
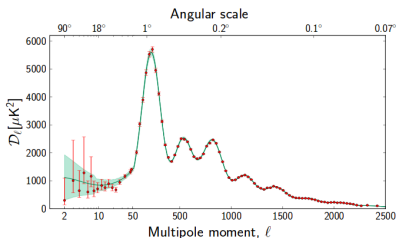
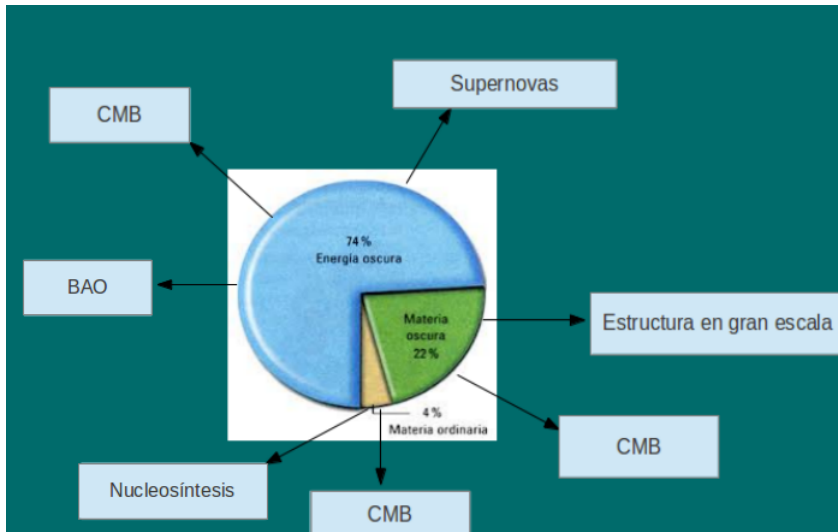
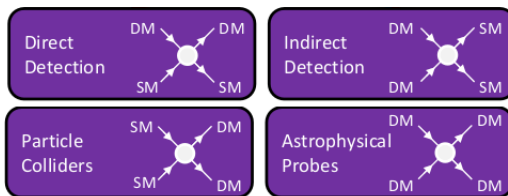


Figura : Planck collaboration 2013

Modelo cosmológico estándar.



Estrategias de detección de materia oscura.



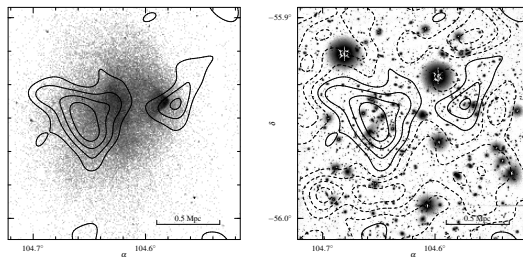
- Estudiando la emisión de rayos- γ de diferentes fuentes astrofísicas (Galaxia Andrómeda, Cúmulo de Coma, etc.) se identificó una línea de emisión en $E = 3,55 \pm 0,03 \text{ Kev}$, que puede ser interpretada como la emisión producida por el decaimiento de un neutrino estéril con una masa de $m_{sn} = 7,06 \pm 0,05 \text{ Kev}$. *Boyarsky et al.* y *Bulbuk et al.*
- Esta interpretación es consistente con todos los límites provenientes de otras observaciones cosmológicas.

video

- Imagen en el óptico.
- Emisión en rayos x.
- Masa estimada por LG.



Bullet Cluster



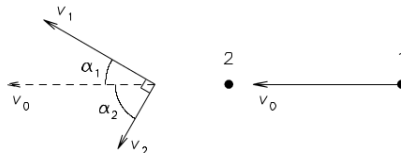
Markevitch et al. 2004

- Desfasaje entre la materia oscura y el gas:

$\tau_s = \frac{\sigma}{m} \Sigma_s$ donde σ es la sección eficaz, m es la masa de la partícula y Σ_s es la densidad superficial de DM. La densidad superficial promediada dentro de $r = r_{tr}$ es $\Sigma \approx 0,2 gcm^{-2}$, entonces, asumiendo simetría esférica y pidiendo que $\tau_s < 1$ tenemos: $\frac{\sigma}{m} < 5 cm^2 g^{-1}$.

Cúmulo	$\frac{\sigma}{m}$
Bullet Cluster	$< 5 cm^2/g$
Musket Ball	$< 7 cm^2/g$
Baby Bullet	$< 4 cm^2/g$

- La gran velocidad del cúmulo secundario:



$$\bar{p} = mv_s \left[1 - 4 \int_{\sin \alpha_c}^1 x^2 \left(x^2 - \frac{V^2}{v^2} (1 - x^2) \right)^{1/2} dx \right] \approx 0,1mv_s \quad (1)$$

$$\frac{d(v - v_{ff})}{dt} = \frac{\bar{p}n}{M_s} = \frac{\bar{p}}{m} \frac{\sigma}{m} \rho_m v \quad (2)$$

$$v - v_{ff} = \frac{\bar{p}}{m} \frac{\sigma}{m} \Sigma_m \quad (3)$$

$$v - v_{ff} < 1000 \text{ km/s} \quad (4)$$

$$\frac{\sigma}{m} < 7 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (5)$$

- La supervivencia del cúmulo secundario.

$$\chi = 1 - 2 \frac{v_{esc}^2}{v_0^2} \quad (6)$$

$$\tau_m = \frac{\sigma}{m} \Sigma_m \quad (7)$$

$$\chi \tau_m = \frac{\sigma}{m} \Sigma_m \left[1 - 2 \frac{v_{esc}^2}{v_0^2} \right] \quad (8)$$

$$\chi \tau_m < 0,3 \quad (9)$$

$$\frac{\sigma}{m} < 1 \text{ cm}^2 / g \quad (10)$$

Desafiando la cosmología

- Estudio de la probabilidad de que un cúmulo tenga una velocidad similar a la del bullet cluster.
 - Hayashi et al. 2006
 - Farrar y Rosen 2007
 - Lee y Komatsu 2010
 - Thompson y Nagamine 2011
 - Watson et al. 2013
- Estudios con simulaciones hidrodinámicas
 - Springel & Farrar. 2005
 - Milosavljevic et al. 2007
 - Mastropietro & Burket. 2008

- 1 Motivaciones.
 - Bullet cluster
- 2 Mock.
 - Simulación Millenium
 - Modelo semi-analítico: De Lucia 2004, Croton et al. 2006
- 3 Test de identificación de subestructuras.
 - Test de Dressler-Shectman
 - Test de Dressler-Shectman iterativo.
 - Mixtura de gaussianas.
- 4 Resultados.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR3.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR8.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del 2DF.
- 5 Conclusiones

Simulación Millenium

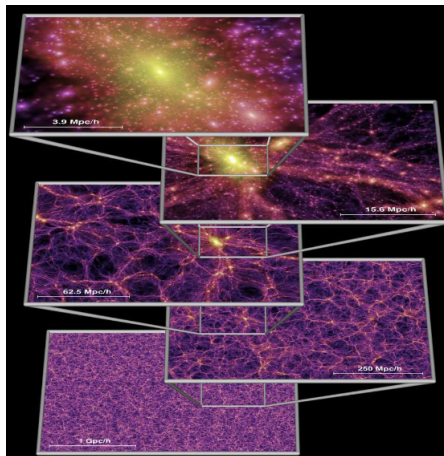


Figura : Springel et al. 2005

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27
- $\Omega_b = 0,045$ 0,046

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27
- $\Omega_b = 0,045$ 0,046
- $\Omega_\Lambda = 0,75$ 0,75

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27
- $\Omega_b = 0,045$ 0,046
- $\Omega_\Lambda = 0,75$ 0,75
- $h = 0,73$ 0,72

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27
- $\Omega_b = 0,045$ 0,046
- $\Omega_\Lambda = 0,75$ 0,75
- $h = 0,73$ 0,72
- $n_s = 1$ 0,99

Modelo Cosmológico Λ CDM

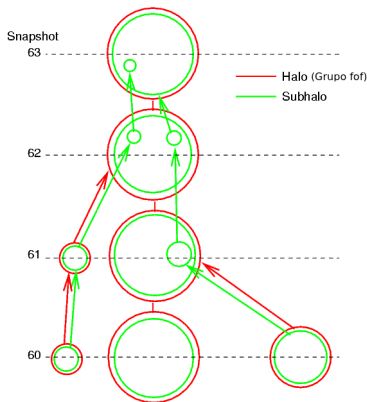
- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27
- $\Omega_b = 0,045$ 0,046
- $\Omega_\Lambda = 0,75$ 0,75
- $h = 0,73$ 0,72
- $n_s = 1$ 0,99
- $\sigma_8 = 0,9$ 0,9

Modelo Cosmológico Λ CDM

- $N_p = 2160^3$
- $L = 500 Mpc$
- $m_p = 8,61 * 10^8 M_\odot$
- $\Omega_m = 0,25$ 0,27
- $\Omega_b = 0,045$ 0,046
- $\Omega_\Lambda = 0,75$ 0,75
- $h = 0,73$ 0,72
- $n_s = 1$ 0,99
- $\sigma_8 = 0,9$ 0,9
- *Snapshots* = 64

Estudio de los árboles de fusión.

- A partir de los árboles de fusión de los subhalos, construimos el árbol de fusión del Grupo fof.



Construyendo galaxias: Modelos semi-analítico.

- Cada halo de materia oscura colapsa junto con un conjunto de bariones, siendo la fracción de masa bariónica de $f_b = 17\%$

Construyendo galaxias: Modelos semi-analítico.

- Cada halo de materia oscura colapsa junto con un conjunto de bariones, siendo la fracción de masa bariónica de $f_b = 17\%$
- Reionización: Se utiliza un modelo de 3 fases.

Construyendo galaxias: Modelos semi-analítico.

- Cada halo de materia oscura colapsa junto con un conjunto de bariones, siendo la fracción de masa bariónica de $f_b = 17\%$
- Reionización: Se utiliza un modelo de 3 fases.
- Para modelar la evolución de los agujeros negros, se supone que estos crecen durante las fusiones entre galaxias y por la acreción de gas frío, la cual esta cuantificada por el parámetro f_{BH} que representa la fracción de gas frío acretada durante la fusión.

Construyendo galaxias: Modelos semi-analítico.

- Cada halo de materia oscura colapsa junto con un conjunto de bariones, siendo la fracción de masa bariónica de $f_b = 17\%$
- Reionización: Se utiliza un modelo de 3 fases.
- Para modelar la evolución de los agujeros negros, se supone que estos crecen durante las fusiones entre galaxias y por la acreción de gas frío, la cual esta cuantificada por el parámetro f_{BH} que representa la fracción de gas frío acretada durante la fusión.
- Los núcleos activos (AGN) están modelados suponiendo que su actividad es el resultado de la acreción de gas caliente hacia el agujero negro supermasivo y esta cuantificada por el parámetro κ_{AGN} que representa la eficiencia de dicha acreción.

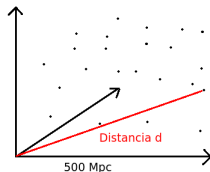
- Para la formación estelar se asume que todas las estrellas se forman en discos de gas frío. Luego se calcula una masa crítica y cuando la masa de gas de una galaxia supera dicha masa crítica, la tasa de formación estelar es:

$$\dot{m}_* = \alpha_{sf} (m_{cold} - m_{crit}) / t_{dyn,disk}$$

- Para la formación estelar se asume que todas las estrellas se forman en discos de gas frío. Luego se calcula una masa crítica y cuando la masa de gas de una galaxia supera dicha masa crítica, la tasa de formación estelar es:

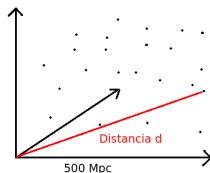
$$\dot{m}_* = \alpha_{sf} (m_{cold} - m_{crit}) / t_{dyn,disk}$$
- Feedback de supernovas: Estos eventos inyectan gas, metales y energía en el medio intergaláctico y pueden calentar el gas frío inhibiendo la formación estelar. Estos fenómenos están cuantificados por ϵ_{dis} , ϵ_{hal} y γ_{ej} , donde el primero hace referencia a la eficiencia de la supernova para recalentar el gas frío en el disco, el segundo es la eficiencia con la cual la supernova eyecta el gas del halo hacia el medio intergaláctico y el último cuantifica la eficiencia con la cual el gas eyectado por la supernova es reincorporado.

Catálogo simulado



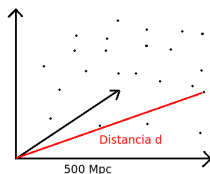
- $$v_r = H_0 * d + v_{pec}^{\vec{}} \cdot \vec{X}$$

Catálogo simulado



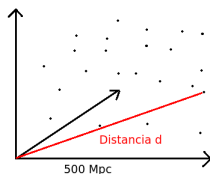
- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{X}$
- $z = \frac{v_r}{c}$

Catálogo simulado



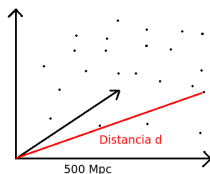
- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{X}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$

Catálogo simulado



- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{X}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$
- $D_L = D_M(1 + z)$

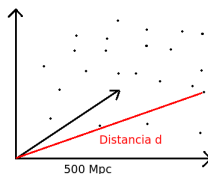
Catálogo simulado



- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{x}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$
- $D_L = D_M(1 + z)$

- $DM = 5 \log\left(\frac{D_L}{10 P_c}\right)$

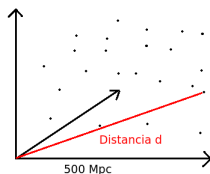
Catálogo simulado



- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{x}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$
- $D_L = D_M(1 + z)$

- $DM = 5 \text{LOG}(\frac{DL}{10 P_c})$
- $m = M + DM + K$

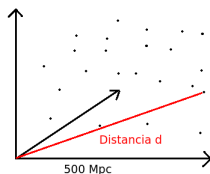
Catálogo simulado



- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{x}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$
- $D_L = D_M(1 + z)$

- $DM = 5 \text{LOG}(\frac{DL}{10P_c})$
- $m = M + DM + K$
- $\alpha = \text{atan}(\frac{y}{x})$

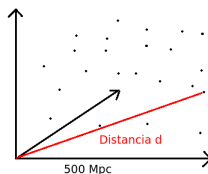
Catálogo simulado



- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{x}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$
- $D_L = D_M(1 + z)$

- $DM = 5 \text{LOG}(\frac{D_L}{10 P_c})$
- $m = M + DM + K$
- $\alpha = \text{atan}(\frac{y}{x})$
- $\delta = \text{atan}(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}})$

Catálogo simulado



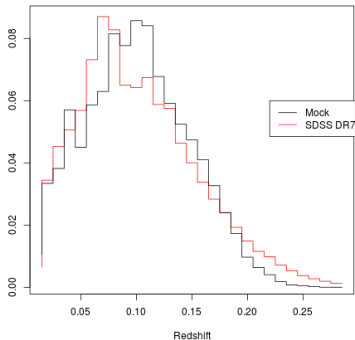
- $v_r = H_0 * d + v_{pec} \cdot \vec{x}$
- $z = \frac{v_r}{c}$
- $D_M = c \int_0^z H(z') dz'$
- $D_L = D_M(1 + z)$

- $DM = 5 \text{LOG}(\frac{DL}{10 P_c})$
- $m = M + DM + K$
- $\alpha = \text{atan}(\frac{y}{x})$
- $\delta = \text{atan}(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}})$

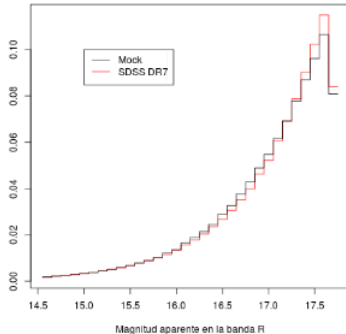
Este catálogo fue realizado sobre toda la esfera (4π) sin utilizar ninguna máscara.

Catálogo simulado

Comparacion mock y SDSS DR7



Comparacion del mock con el SDSS DR7



- 1 Motivaciones.
 - Bullet cluster
- 2 Mock.
 - Simulación Millenium
 - Modelo semi-analítico: De Lucia 2004, Croton et al. 2006
- 3 Test de identificación de subestructuras.
 - Test de Dressler-Shectman
 - Test de Dressler-Shectman iterativo.
 - Mixtura de gaussianas.
- 4 Resultados.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR3.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR8.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del 2DF.
- 5 Conclusiones

Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
donde

Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
donde
- v : Velocidad media del cúmulo.

Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$ donde
- v : Velocidad media del cúmulo.
- v_{local} : Velocidad media local. Se tienen en cuenta las 10 galaxias más cercanas.

Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$ donde
- v : Velocidad media del cúmulo.
- v_{local} : Velocidad media local. Se tienen en cuenta las 10 galaxias más cercanas.
- σ : Dispersión de velocidades del cúmulo.

Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
donde
- v : Velocidad media del cúmulo.
- v_{local} : Velocidad media local. Se tienen en cuenta las 10 galaxias más cercanas.
- σ : Dispersión de velocidades del cúmulo.
- σ_{local} : Dispersión de velocidades local.

Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$ donde
- v : Velocidad media del cúmulo.
- v_{local} : Velocidad media local. Se tienen en cuenta las 10 galaxias más cercanas.
- σ : Dispersión de velocidades del cúmulo.
- σ_{local} : Dispersión de velocidades local.
- Se define el estadístico: $\Delta = \Sigma \delta$.

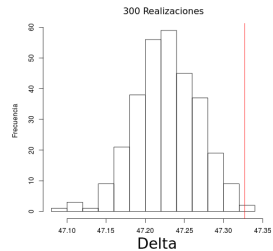
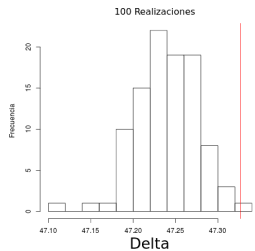
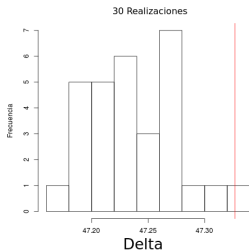
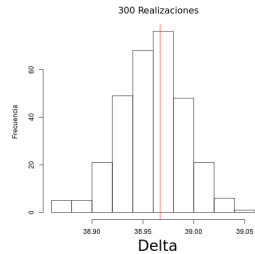
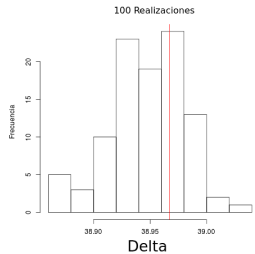
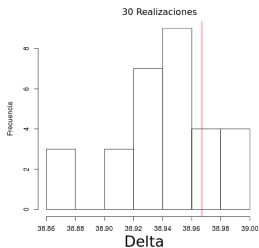
Test de Dressler-Shectman

- Se define el estadístico: $\delta^2 = (\frac{11}{\sigma^2})[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$ donde
- v : Velocidad media del cúmulo.
- v_{local} : Velocidad media local. Se tienen en cuenta las 10 galaxias más cercanas.
- σ : Dispersión de velocidades del cúmulo.
- σ_{local} : Dispersión de velocidades local.
- Se define el estadístico: $\Delta = \Sigma \delta$.
- *Pinkney et al.*
 - Es el mejor test de identificación de subestructuras.
 - La tasa de efectividad baja cuando las subestructuras están a lo largo de la línea de la visual y cuando el cúmulo tiene menos de 30 galaxias.
 - Recomiendan complementar este test con la medición de la Skewness de la distribución de velocidades radiales.
 - Puede identificar las subestructuras provenientes de una fusión hasta 3 Gyr después de dicha interacción, lo que equivale a 10 snapshots en la simulación, es decir, hasta el snapshot 53.

- Como no se conoce la distribución del estadístico Δ , es necesario correr realizaciones Monte Carlo distribuyendo aleatoriamente la velocidad, de manera de borrar la subestructuras manteniendo la distribución de velocidades.

- Como no se conoce la distribución del estadístico Δ , es necesario correr realizaciones Monte Carlo distribuyendo aleatoriamente la velocidad, de manera de borrar la subestructuras manteniendo la distribución de velocidades.
- Definimos el valor p mediante

$$p = \frac{N(\Delta_{MC} > \Delta)}{N_{MC}} \quad (11)$$



Test de Dressler-Shectman iterativo

- $\delta^2 = \left(\frac{0,2 * n_{gal}}{\sigma^2}\right) [(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$

Test de Dressler-Shectman iterativo

- $\delta^2 = \left(\frac{0,2 * n_{gal}}{\sigma^2}\right) [(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
- Se eliminan aquellas galaxias con $\delta < 0,7\bar{\delta}$

Test de Dressler-Shectman iterativo

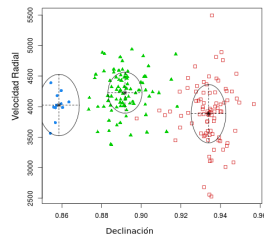
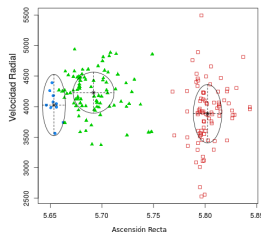
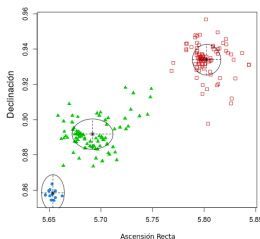
- $\delta^2 = \left(\frac{0,2*ngal}{\sigma^2}\right)[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
- Se eliminan aquellas galaxias con $\delta < 0,7\bar{\delta}$
- Se calcula nuevamente
 $\delta^2 = \left(\frac{0,2*ngal}{\sigma^2}\right)[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$

Test de Dressler-Shectman iterativo

- $\delta^2 = \left(\frac{0,2*ngal}{\sigma^2}\right)[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
- Se eliminan aquellas galaxias con $\delta < 0,7\bar{\delta}$
- Se calcula nuevamente $\delta^2 = \left(\frac{0,2*ngal}{\sigma^2}\right)[(v_{local} - v)^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2]$
- Decimos que el algoritmo converge si el número de galaxias entre 2 pasos consecutivos es igual.

Mixtura de gaussianas (*Mclust*)

Dado que la aplicación del test de DS nos deja un conjunto de galaxias con alta probabilidad de residir en subestructuras, resulta necesario agrupar las mismas con el fin de definirlas y establecer sus propiedades físicas.



Aplicación del Test de DS en el catálogo simulado

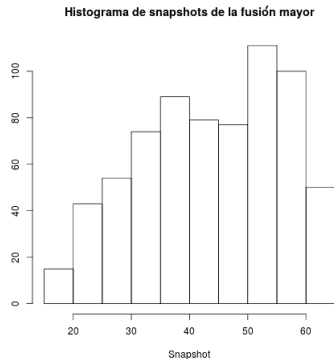
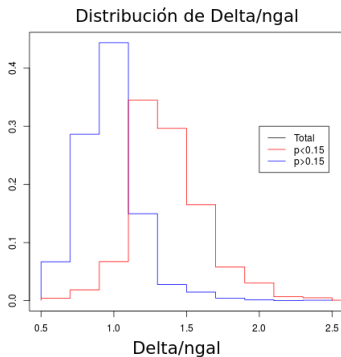
- Aplicamos el test a 2854 cúmulos con masas mayores a $10^{13} M_{\odot}$ y con más de 30 galaxias.

Aplicación del Test de DS en el catálogo simulado

- Aplicamos el test a 2854 cúmulos con masas mayores a $10^{13} M_{\odot}$ y con más de 30 galaxias.
- Encontramos que 1448 cúmulos presentan subestructuras ($p < 0,15$), lo que representa aproximadamente un 50 % de la muestra.

Aplicación del Test de DS en el catálogo simulado

- Aplicamos el test a 2854 cúmulos con masas mayores a $10^{13} M_{\odot}$ y con más de 30 galaxias.
- Encontramos que 1448 cúmulos presentan subestructuras ($p < 0,15$), lo que representa aproximadamente un 50 % de la muestra.
- Si además pedimos que la Skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta a 0, la muestra se reduce a 715 cúmulos.

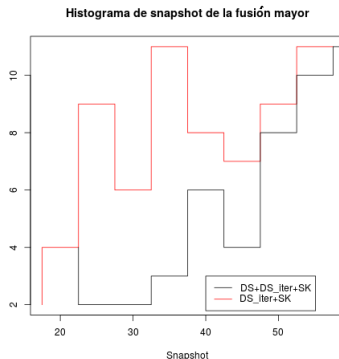


Aplicación del test de DS iterativo

- Aplicamos el test de DS iterativo a los 2854 cúmulos de la muestra y encontramos que en 119, el test converge.

Aplicación del test de DS iterativo

- Aplicamos el test de DS iterativo a los 2854 cúmulos de la muestra y encontramos que en 119, el test converge.
- De estos 119, solo 46 también fueron detectados por el test de DS tradicional complementado con el test de Skewnes.



Aplicación de la mixtura de gaussianas.

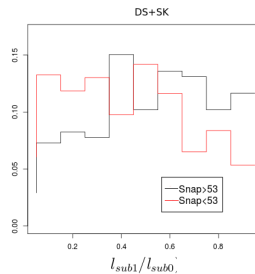
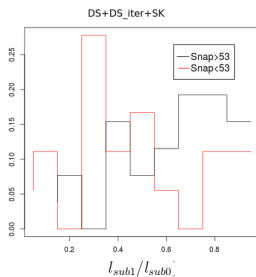
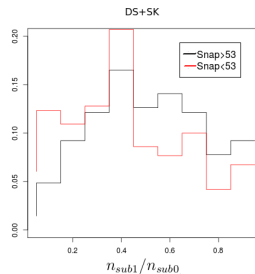
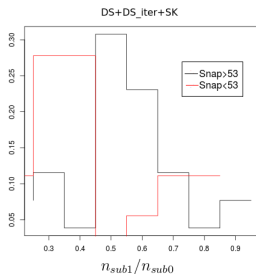
- Utilizamos el programa *Mclust* sobre aquellas galaxias con $\delta > 2$.

Aplicación de la mixtura de gaussianas.

- Utilizamos el programa *Mclust* sobre aquellas galaxias con $\delta > 2$.
- En 636 cúmulos, de la muestra de 715 cúmulos, se encuentran 2 subestructuras.

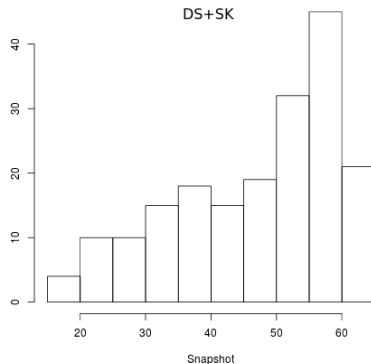
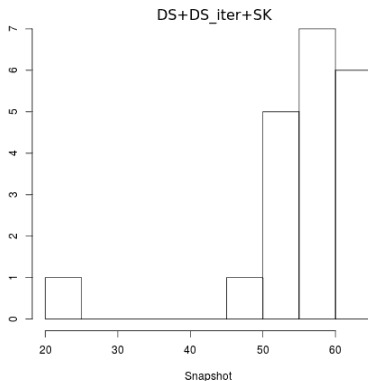
Aplicación de la mixtura de gaussianas.

- Utilizamos el programa *Mclust* sobre aquellas galaxias con $\delta > 2$.
- En 636 cúmulos, de la muestra de 715 cúmulos, se encuentran 2 subestructuras.
- Encontramos que en 44 de los 46 cúmulos, de la muestra identificada por ambos test de DS más el test de Skewness, hay 2 subestructuras significativas.



- De los 715 cúmulos, 190 presentan una ocupación relativa mayor a 0.5.

- De los 715 cúmulos, 190 presentan una ocupación relativa mayor a 0.5.
- De los 46 cúmulos, 20 presentan una ocupación relativa mayor a 0.5.



Estudio de las subestructuras identificadas.

- Luego de la identificación de la subestructuras de esta muestra, cada una de estas fue asociada con un halo del mock, teniendo en cuenta cual era el halo del mock con mayor cantidad de galaxias en dicha subestructura encontrada por el programa *mclust*.

Estudio de las subestructuras identificadas.

- Luego de la identificación de la subestructuras de esta muestra, cada una de estas fue asociada con un halo del mock, teniendo en cuenta cual era el halo del mock con mayor cantidad de galaxias en dicha subestructura encontrada por el programa *mclust*.
- Para lograr una mejor identificación de las subestructuras, calculamos las coordenadas del centro, pesadas por luminosidad.

Estudio de las subestructuras identificadas.

- Luego de la identificación de la subestructuras de esta muestra, cada una de estas fue asociada con un halo del mock, teniendo en cuenta cual era el halo del mock con mayor cantidad de galaxias en dicha subestructura encontrada por el programa *mclust*.
- Para lograr una mejor identificación de las subestructuras, calculamos las coordenadas del centro, pesadas por luminosidad.
- Luego estimamos la dispersión de velocidades y el radio virial mediante:

$$\begin{aligned}
 R_{vir} &= \frac{\pi}{2} \frac{ngal(ngal - 1)}{\sum_{i>j}^{ngal} R_{ij}^{-1}} \\
 \sigma &= \frac{\sqrt{\pi}}{ngal(ngal - 1)} \sum_{i=1}^{ngal-1} \omega_i g_i \\
 \omega_i &= i(ngal - i) \\
 g_i &= v_{i+1} - v_i
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Estudio de las subestructuras identificadas.

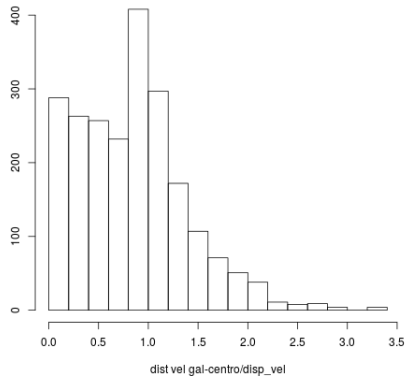
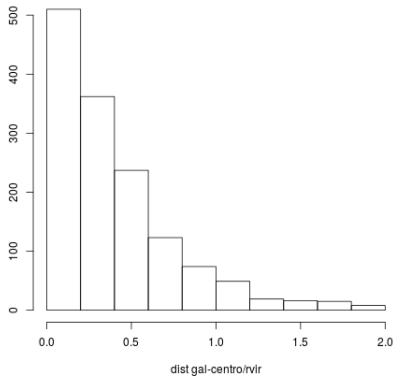
- Comparamos los centros de los grupos identificados, con los centros de los halos asociados, encontrando que nuestra estimación del centro es buena.

Estudio de las subestructuras identificadas.

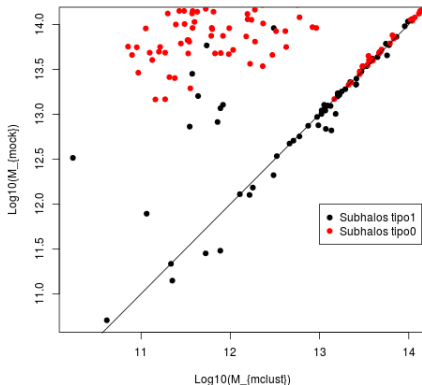
- Comparamos los centros de los grupos identificados, con los centros de los halos asociados, encontrando que nuestra estimación del centro es buena.
- Comparamos los radios viriales de los grupos identificados con los radios viriales de los halos asociados, encontrando que estamos sobreestimando dichos radios.

Estudio de las subestructuras identificadas.

- Comparamos los centros de los grupos identificados, con los centros de los halos asociados, encontrando que nuestra estimación del centro es buena.
- Comparamos los radios viriales de los grupos identificados con los radios viriales de los halos asociados, encontrando que estamos sobreestimando dichos radios.
- Comparamos la dispersión de velocidad de los grupos identificados con la dispersión de velocidad de los halos asociados, encontrando que nuestro cálculo es una buena estimación de dicho valor.



- Consideramos miembros de un grupo solamente aquellas galaxias que se encuentran a una distancia proyectada menor que el radio virial r_{vir} y con una diferencia de velocidades radiales menor a 2σ .



Al realizar la asociación entre grupos identificados por *mclust* y subhalos del mock encontramos 3 casos:

- 1 Cúmulos en el que identificamos el subhalo tipo 0 (subhalo principal del grupo fof) y un subhalo tipo 1.

Al realizar la asociación entre grupos identificados por *mclust* y subhalos del mock encontramos 3 casos:

- 1 Cúmulos en el que identificamos el subhalo tipo 0 (subhalo principal del grupo fof) y un subhalo tipo 1.
- 2 Cúmulos en los que identificamos dos subhalos tipo 1.

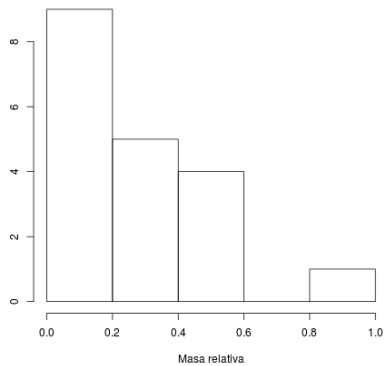
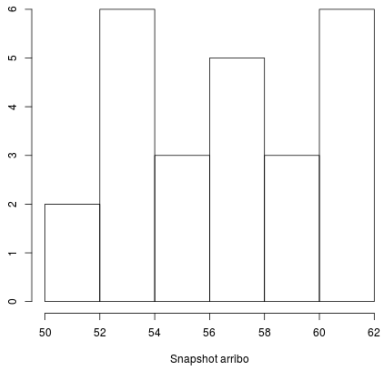
Al realizar la asociación entre grupos identificados por *mclust* y subhalos del mock encontramos 3 casos:

- 1 Cúmulos en el que identificamos el subhalo tipo 0 (subhalo principal del grupo fof) y un subhalo tipo 1.
- 2 Cúmulos en los que identificamos dos subhalos tipo 1.
- 3 Cúmulos en los que el programa *mclust* encuentra dos grupos que están asociados a un solo subhalo tipo 0 en el mock.

Al realizar la asociación entre grupos identificados por *mclust* y subhalos del mock encontramos 3 casos:

- ❶ Cúmulos en el que identificamos el subhalo tipo 0 (subhalo principal del grupo fof) y un subhalo tipo 1.
- ❷ Cúmulos en los que identificamos dos subhalos tipo 1.
- ❸ Cúmulos en los que el programa *mclust* encuentra dos grupos que están asociados a un solo subhalo tipo 0 en el mock.

De los 715 cúmulos, en 28 encontramos 2 subestructuras con una ocupación relativa mayor a 0,5 y cuyos grupos tengan más de 3 galaxias. De estos 28, en 19 encontramos el halo tipo 0 y un halo tipo 1 (caso 1), en 4 encontramos 2 halos tipo 1 (caso 2) y en 5 se genera una falsa subestructura a partir del ajuste de las gaussianas (caso 3).



A partir de la asociación entre grupos identificados con *mclust* y subhalos del mock, se pueden definir 3 parámetros para evaluar dichas subestructuras.

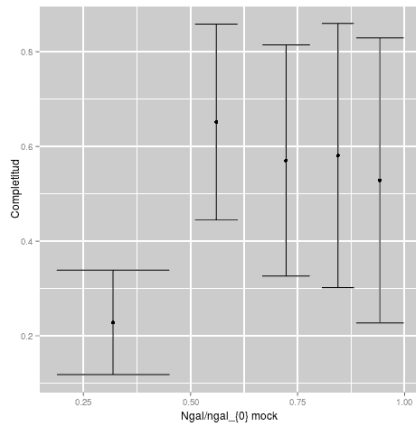
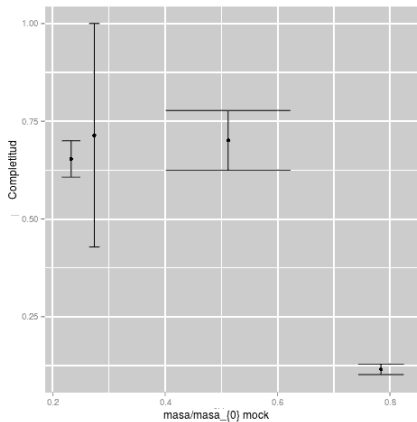
- 1 Completitud: La completitud esta definida como el número de galaxias del grupo encontrado por *mclust* que pertenecen al subhalo asociado, dividido la cantidad de galaxias del subhalo asociado.

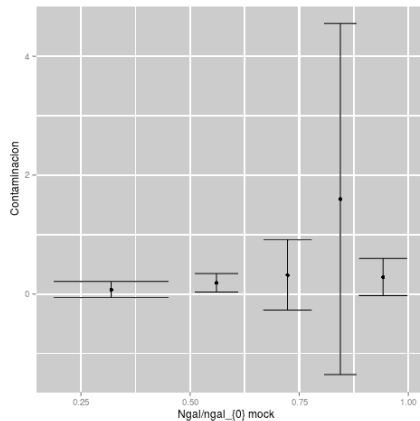
A partir de la asociación entre grupos identificados con *mclust* y subhalos del mock, se pueden definir 3 parámetros para evaluar dichas subestructuras.

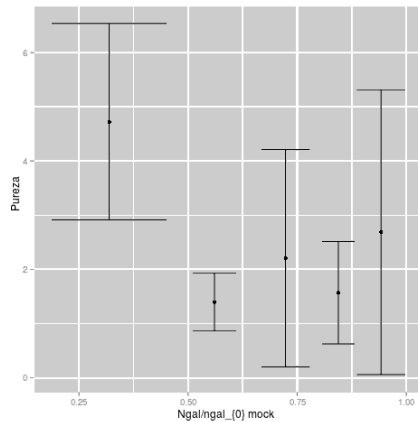
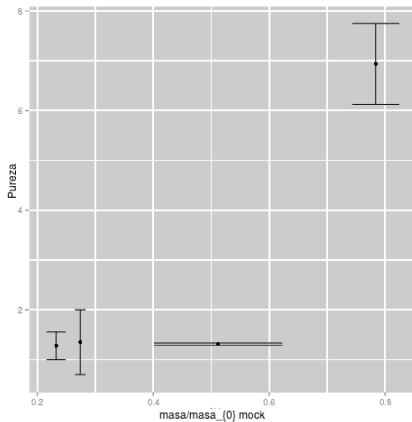
- ① **Completitud:** La completitud esta definida como el número de galaxias del grupo encontrado por *mclust* que pertenecen al subhalo asociado, dividido la cantidad de galaxias del subhalo asociado.
- ② **Contaminación:** La contaminación es la cantidad de galaxias del grupo encontrado por *Mclust* que no pertenecen al subhalo asociado, dividido la cantidad de galaxias del subhalo asociado.

A partir de la asociación entre grupos identificados con *mclust* y subhalos del mock, se pueden definir 3 parámetros para evaluar dichas subestructuras.

- ❶ Completitud: La completitud esta definida como el número de galaxias del grupo encontrado por *mclust* que pertenecen al subhalo asociado, dividido la cantidad de galaxias del subhalo asociado.
- ❷ Contaminación: La contaminación es la cantidad de galaxias del grupo encontrado por *Mclust* que no pertenecen al subhalo asociado, dividido la cantidad de galaxias del subhalo asociado.
- ❸ Pureza: La pureza es la cantidad de galaxias del subhalo asociado, dividido la cantidad de galaxias del grupo encontrado.







- 1 Motivaciones.
 - Bullet cluster
- 2 Mock.
 - Simulación Millenium
 - Modelo semi-analítico: De Lucia 2004, Croton et al. 2006
- 3 Test de identificación de subestructuras.
 - Test de Dressler-Shectman
 - Test de Dressler-Shectman iterativo.
 - Mixtura de gaussianas.
- 4 Resultados.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR3.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR8.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del 2DF.
- 5 Conclusiones

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind. et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind. et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.
- Este catálogo fue realizado utilizando un algoritmo *Friend-of-Friends (FOF)*, sobre 3 muestras limitadas por volumen del catálogo de galaxias SDSS DR3.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind. et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.
- Este catálogo fue realizado utilizando un algoritmo *Friend-of-Friends (FOF)*, sobre 3 muestras limitadas por volumen del catálogo de galaxias SDSS DR3.
- Solo 77 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.
- Este catálogo fue realizado utilizando un algoritmo *Friend-of-Friends (FOF)*, sobre 3 muestras limitadas por volumen del catálogo de galaxias SDSS DR3.
- Solo 77 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 30 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$), representando el 40 % de la muestra aproximadamente, valor similar a los encontrados en trabajos anteriores (*Geller et al.*, *Dressler et al.* y *West et al.*).

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.
- Este catálogo fue realizado utilizando un algoritmo *Friend-of-Friends (FOF)*, sobre 3 muestras limitadas por volumen del catálogo de galaxias SDSS DR3.
- Solo 77 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 30 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$), representando el 40 % de la muestra aproximadamente, valor similar a los encontrados en trabajos anteriores (*Geller et al.*, *Dressler et al.* y *West et al.*).
- Todos estos cúmulos presentan una skewness de la distribución de velocidades radiales distinta de 0.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind. et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.
- Este catálogo fue realizado utilizando un algoritmo *Friend-of-Friends (FOF)*, sobre 3 muestras limitadas por volumen del catálogo de galaxias SDSS DR3.
- Solo 77 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 30 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$), representando el 40 % de la muestra aproximadamente, valor similar a los encontrados en trabajos anteriores (*Geller et al.*, *Dressler et al.* y *West et al.*).
- Todos estos cúmulos presentan una skewness de la distribución de velocidades radiales distinta de 0.
- De estos 30 cúmulos, 20 presentan subestructura según el test de DS iterativo.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Berlind. et al*

- Contiene información sobre 8148 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 44554 galaxias.
- Este catálogo fue realizado utilizando un algoritmo *Friend-of-Friends (FOF)*, sobre 3 muestras limitadas por volumen del catálogo de galaxias SDSS DR3.
- Solo 77 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 30 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$), representando el 40 % de la muestra aproximadamente, valor similar a los encontrados en trabajos anteriores (*Geller et al.*, *Dressler et al.* y *West et al.*).
- Todos estos cúmulos presentan una skewness de la distribución de velocidades radiales distinta de 0.
- De estos 30 cúmulos, 20 presentan subestructura según el test de DS iterativo.
- Identificamos las subestructuras presentes en los cúmulos previamente seleccionados, a través del programa *mclust*, corrido sobre todas las galaxias con $\delta > 2$, encontrando 2 subestructuras significativas en 15 de los cúmulos de la muestra.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de linkeo variable según el redshift, aplicado sobre el SDSS DR8 , para galaxias con una magnitud aparente en la banda r de hasta 17,77.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de linkeo variable según el redshift, aplicado sobre el SDSS DR8 , para galaxias con una magnitud aparente en la banda r de hasta 17,77.
- Al igual que en el catálogo de *Berlind et al.*, solamente 389 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de linkeo variable según el redshift, aplicado sobre el SDSS DR8 , para galaxias con una magnitud aparente en la banda r de hasta 17,77.
- Al igual que en el catálogo de *Berlind et al.*, solamente 389 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 246 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift, aplicado sobre el SDSS DR8 , para galaxias con una magnitud aparente en la banda r de hasta 17,77.
- Al igual que en el catálogo de *Berlind et al.*, solamente 389 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 246 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).
- Si además pedimos que la skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta de 0, la muestra se reduce a 132.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift, aplicado sobre el SDSS DR8 , para galaxias con una magnitud aparente en la banda r de hasta 17,77.
- Al igual que en el catálogo de *Berlind et al.*, solamente 389 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 246 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).
- Si además pedimos que la skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta de 0, la muestra se reduce a 132.
- De estos 132 cúmulos, 86 presentan subestructura según el test de DS iterativo.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Tempel et al.*

- Contiene información sobre 77858 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 576493 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift, aplicado sobre el SDSS DR8 , para galaxias con una magnitud aparente en la banda r de hasta 17,77.
- Al igual que en el catálogo de *Berlind et al.*, solamente 389 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 246 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).
- Si además pedimos que la skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta de 0, la muestra se reduce a 132.
- De estos 132 cúmulos, 86 presentan subestructura según el test de DS iterativo.
- Identificamos las subestructuras presentes en los cúmulos previamente seleccionados, a través del programa *mclust*, corrido sobre todas las galaxias con $\delta > 2$, encontrando 2 subestructuras significativas en 80 de los cúmulos de la muestra.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de linkeo variable según el redshift y la densidad de galaxias, aplicado sobre el 2Df.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de linqueo variable según el redshift y la densidad de galaxias, aplicado sobre el 2Df.
- Solamente 144 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift y la densidad de galaxias, aplicado sobre el 2Df.
- Solamente 144 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 112 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift y la densidad de galaxias, aplicado sobre el 2Df.
- Solamente 144 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 112 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).
- Si además pedimos que la skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta de 0, la muestra se reduce a 60.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift y la densidad de galaxias, aplicado sobre el 2Df.
- Solamente 144 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 112 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).
- Si además pedimos que la skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta de 0, la muestra se reduce a 60.
- De estos 60 cúmulos, 41 presentan subestructura según el test de DS iterativo.

Aplicación del método de detección: Catálogo de *Eke et al.*

- Contiene información sobre 28877 cúmulos y grupos de galaxias, que representan una muestra de 191440 galaxias.
- Fue realizado utilizando un algoritmo FOF modificado con una longitud de lindeo variable según el redshift y la densidad de galaxias, aplicado sobre el 2Df.
- Solamente 144 cúmulos tienen una ocupación mayor a 30.
- Encontramos que 112 cúmulos presentan subestructura significativa ($pval < 0,15$).
- Si además pedimos que la skewness de la distribución de velocidades radiales sea distinta de 0, la muestra se reduce a 60.
- De estos 60 cúmulos, 41 presentan subestructura según el test de DS iterativo.
- Identificamos las subestructuras presentes en los cúmulos previamente seleccionados, a través del programa *mclust*, corrido sobre todas las galaxias con $\delta > 2$, encontrando 2 subestructuras significativas en 38 de los cúmulos de la muestra.

- 1 Motivaciones.
 - Bullet cluster
- 2 Mock.
 - Simulación Millenium
 - Modelo semi-analítico: De Lucia 2004, Croton et al. 2006
- 3 Test de identificación de subestructuras.
 - Test de Dressler-Shectman
 - Test de Dressler-Shectman iterativo.
 - Mixtura de gaussianas.
- 4 Resultados.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR3.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del SDSS DR8.
 - Catálogo de grupos y cúmulos de galaxias del 2DF.
- 5 Conclusiones

Resumen.

- Se construyo un catálogo simulado de galaxias.

Resumen.

- Se construyo un catálogo simulado de galaxias.
- Se construyo un árbol de fusión para los grupos fof.

Resumen.

- Se construyo un catálogo simulado de galaxias.
- Se construyo un árbol de fusión para los grupos fof.
- Se estudiaron diferentes métodos para la identificación de subestructuras, entre ellos, uno desarrollado por nosotros.

Resumen.

- Se construyo un catálogo simulado de galaxias.
- Se construyo un árbol de fusión para los grupos fof.
- Se estudiaron diferentes métodos para la identificación de subestructuras, entre ellos, uno desarrollado por nosotros.
- Se estudiaron los árboles de fusión de los cúmulos seleccionados por los diferentes métodos.

Resumen.

- Se construyo un catálogo simulado de galaxias.
- Se construyo un árbol de fusión para los grupos fof.
- Se estudiaron diferentes métodos para la identificación de subestructuras, entre ellos, uno desarrollado por nosotros.
- Se estudiaron los árboles de fusión de los cúmulos seleccionados por los diferentes métodos.
- Se identificaron y estudiaron las subestructuras presentes en dichos cúmulos, encontrando las galaxias miembros y calculando sus propiedades físicas más relevantes.

Resumen.

- Se construyo un catálogo simulado de galaxias.
- Se construyo un árbol de fusión para los grupos fof.
- Se estudiaron diferentes métodos para la identificación de subestructuras, entre ellos, uno desarrollado por nosotros.
- Se estudiaron los árboles de fusión de los cúmulos seleccionados por los diferentes métodos.
- Se identificaron y estudiaron las subestructuras presentes en dichos cúmulos, encontrando las galaxias miembros y calculando sus propiedades físicas más relevantes.
- Se aplicaron los métodos estudiados a catálogos de galaxias reales, armando una muestra de cúmulos de galaxias en proceso de colisión.

Trabajo a futuro

- Explorar variantes que mejoren los métodos utilizados (construcción de mejores catálogos de galaxias, desarrollo de nuevos métodos de identificación de subestructuras, etc.).

Trabajo a futuro

- Explorar variantes que mejoren los métodos utilizados (construcción de mejores catálogos de galaxias, desarrollo de nuevos métodos de identificación de subestructuras, etc.).
- Calibrar con nuevos catálogos simulados el método desarrollado, para su aplicación en catálogos de mayor profundidad.

Trabajo a futuro

- Explorar variantes que mejoren los métodos utilizados (construcción de mejores catálogos de galaxias, desarrollo de nuevos métodos de identificación de subestructuras, etc.).
- Calibrar con nuevos catálogos simulados el método desarrollado, para su aplicación en catálogos de mayor profundidad.
- Estudiar las propiedades físicas de las galaxias que pertenecen a las subestructuras identificadas.

Trabajo a futuro

- Explorar variantes que mejoren los métodos utilizados (construcción de mejores catálogos de galaxias, desarrollo de nuevos métodos de identificación de subestructuras, etc.).
- Calibrar con nuevos catálogos simulados el método desarrollado, para su aplicación en catálogos de mayor profundidad.
- Estudiar las propiedades físicas de las galaxias que pertenecen a las subestructuras identificadas.
- Realizar pruebas astrofísicas sobre los cúmulos del catálogo para determinar propiedades de la materia oscura.

