

Construcción de un catálogo de cúmulos de galaxias en proceso de colisión

M. de los Rios¹, M.J. Domínguez¹ & D. Paz¹

Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE)

Contacto/ MDLR: martindelosrios13@gmail.com

Resumen /

En este trabajo se presentan la metodología y resultados preliminares de la identificación de cúmulos en colisión en los grandes catálogos de galaxias con mediciones de *redshift* (SDSS, 2DF), a través de un método calibrado en catálogos simulados realizados en base a la simulación cosmológica *Millenium* y sus modelos semi-analíticos, mediante el análisis de los árboles de fusión de los sistemas de galaxias allí presentes.

Finalmente se discuten perspectivas futuras del análisis de nuestra muestra de sistemas en colisión, combinados con observaciones en rayos-x y reconstrucciones de masas obtenidas con lentes gravitacionales débiles.

Abstract / In this work we present first results of the identification of colliding galaxy clusters in galaxy catalogs with redshift measurements (SDSS, 2DF), and introduce the methodology. We calibrated a method by studying the merger trees of clusters in a mock catalog based on a full-blown semi-analytic model of galaxy formation on top of the Millenium cosmological simulation. We also discuss future actions for studding our sample of colliding galaxy clusters, including x-ray observations and mass reconstruction obtained by using weak gravitational lenses.

Keywords / Dark matter — Galaxies clusters

1. Introducción.

Los mejores límites para la sección eficaz de interacción de las partículas de materia oscura han sido establecidos con estudios realizados sobre cúmulos de galaxias en fusión. Para realizar un estudio estadístico de las propiedades de la materia oscura resulta necesaria la construcción de un catálogo de dichos sistemas. En este trabajo se presentan la metodología y resultados de la identificación de cúmulos en colisión en los catálogos SDSS y 2dFGRS.

2. Elaboración de un catálogo *mock*

Se construyó un catálogo de galaxias simulado, a partir del modelo semi-analítico de De Lucia & Blaizot (2007) aplicado a los datos de la simulación cosmológica *Millenium* (Springel et al., 2005). En la figura 1 se muestra una comparación entre la distribución de magnitudes aparentes en la banda r entre el SDSS DR7 (Abazajian et al., 2009) y nuestro catálogo simulado, mientras que en la Figura 2 se muestra una comparación entre la distribución de *redshifts* de ambos catálogos, en donde se observa la similitud entre el catálogo simulado y el SDSS DR7.

2.1. Construcción de los árboles de fusión de los cúmulos de galaxias

Con el objetivo de estudiar las historias de fusión de los cúmulos de galaxias, se confeccionaron los árboles de fusión de los *grupos fof* de la simulación *Millenium*

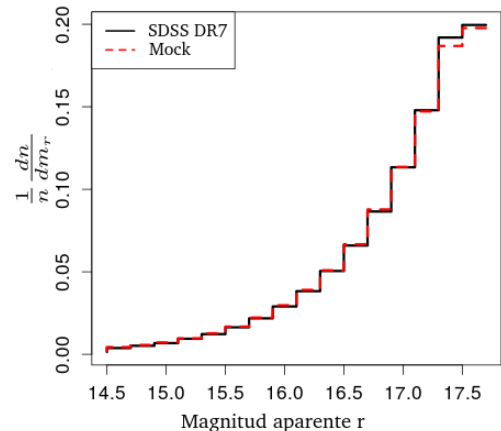


Fig. 1: Comparación entre las distribuciones de las magnitudes aparentes de ambos catálogos.

(equivalentes a un cúmulo de galaxias), a partir de los árboles de fusión de los subhalos de materia oscura. De esta manera se encontró para cada cúmulo cual fue el tiempo transcurrido desde que tuvo su última fusión mayor, definida como la fusión entre 2 cúmulos, en la que cada uno tenga una masa mayor al 20% de la masa del cúmulo luego de la fusión.

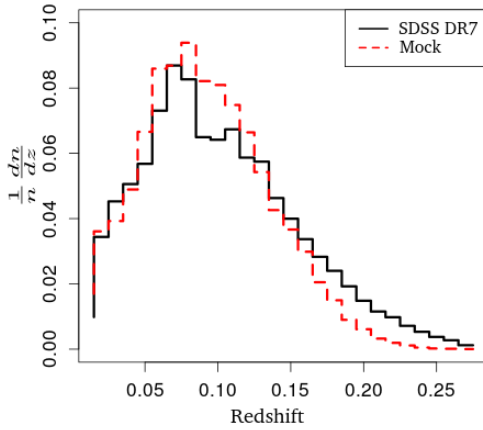


Fig. 2: Comparación entre las distribuciones de redshift del SDSS DR7 y el catálogo simulado.

3. Método de identificación de cúmulos de galaxias en proceso de fusión

Con el objetivo de identificar cúmulos en proceso de colisión, se desarrolló un método basado en la combinación de diferentes métodos estadísticos, que buscan detectar las subestructuras presentes en los cúmulos, los cuales fueron calibrados teniendo en cuenta las tasas de detección encontradas al aplicarlos al catálogo simulado.

Con este fin se utilizaron los siguientes estadísticos:

- Test de Dressler & Shectman (1988) (DS): Este método identifica subestructuras estudiando las diferencias entre las distribuciones de velocidades radiales locales, con respecto a la de todo el cúmulo, cuantificadas por

$$\delta^2 = \left(\frac{11}{\sigma^2} \right) [(\bar{v}_{local} - \bar{v})^2 + (\sigma_{local} - \sigma)^2] \quad (1)$$

donde \bar{v} y σ son la velocidad media y la desviación estándar de la distribución de velocidades de todo el cúmulo. Mientras que \bar{v}_{local} y σ_{local} son la velocidad media local y la desviación estándar de la distribución de velocidades de las 10 galaxias más cercanas a la galaxia para la cual se computa el respectivo valor de δ .

- Test de Dressler & Shectman iterativo: Versión iterativa del test de Dressler & Shectman, en la que en cada paso se eliminan las galaxias con δ menor a $\bar{\delta}$ y se vuelven a calcular los valores de δ de la nueva muestra de galaxias. Definimos la convergencia del algoritmo cuando entre 2 pasos sucesivos no se elimina ninguna galaxia.
- Test de Oblicuidad (*Skewness*): Teniendo en cuenta el estudio realizado por Pinkney et al. (1996) se complementó el test de Dressler & Shectman con el cálculo de la oblicuidad de la distribución de velocidades radiales del cúmulo, ya que es esperable que aquellos cúmulos que estén en un

proceso de fusión presenten una distribución que se aparte de una distribución normal.

- **Mixtura de Gaussianas:** Con el objetivo de agrupar las galaxias que pertenecen a cada subestructura y así poder calcular diferentes propiedades de las mismas, se realizó el ajuste de n gaussianas a la distribución angular de las galaxias mediante el paquete *Mclust* desarrollado por Fraley & Raftery (2002) escrito en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2013).

Teniendo en cuenta los resultados encontrados por Pinkney et al. (1996) se aplicaron los diferentes métodos a una muestra de 2854 *grupos fof* con más de 30 galaxias, encontrando que aproximadamente el 50% de la muestra presenta subestructura según el test de Dressler & Shectman (1448 *grupos fof*). Si además refinamos la muestra exigiendo que la oblicuidad de la distribución de velocidades radiales sea significativamente distinta de 0*, la muestra se reduce a 715 grupos. Al aplicar el test de Dressler & Shectman iterativo se encontraron 119 grupos en los cuales dicho test converge. Cabe resaltar que de estos 119 grupos, solo 46 también presentan subestructuras según el test clásico complementado con el test de oblicuidad, lo que demuestra que si bien ambos test son similares, no son equivalentes, por lo que se los puede utilizar de manera complementaria. Finalmente se utilizó la técnica de mixtura de gaussianas para identificar las subestructuras presentes en los *grupos fof*. De esta manera se encontraron 2 subestructuras comparables (ocupación relativa mayor a 0,5) en 190 de la muestra de 715 grupos identificados por el test de Dressler & Shectman clásico complementado con el test de oblicuidad, mientras que de la muestra de 46 grupos identificados por ambos test de DS, complementados con el test de oblicuidad, se encontraron 2 subestructuras en 20 grupos.

Según el estudio realizado por Pinkney et al. (1996) las subestructuras provenientes de una fusión mayor pueden ser detectadas hasta 3 Gyr después de dicha fusión, lo que en la simulación *Millenium* equivale al *snapshot* 53, teniendo en cuenta este resultado en las figuras 3 y 4 se muestra la distribución de los tiempos transcurridos desde que los grupos tuvieron su última fusión mayor, en donde se observa que aquellos cúmulos que superaron todos los métodos son los que tienen mayor probabilidad de haber tenido su última fusión mayor recientemente y por lo tanto seguir en proceso de fusión, encontrando sólo un cúmulo en el que se identifican subestructuras mediante los diferentes métodos y que no tuvo una fusión mayor recientemente, siendo éste un caso atípico que se estudiará de manera particular.

4. Resultados obtenidos en catálogos reales de cúmulos de galaxias

Se aplicó el método propuesto de detección de cúmulos en proceso de interacción a los catálogos de grupos y cúmulos de Berlind et al. (2006), Tempel et al. (2012) y Eke et al. (2004), construidos usando diferentes versiones

* Calculamos el error en la medición de la oblicuidad utilizando un método de *bootstrap*

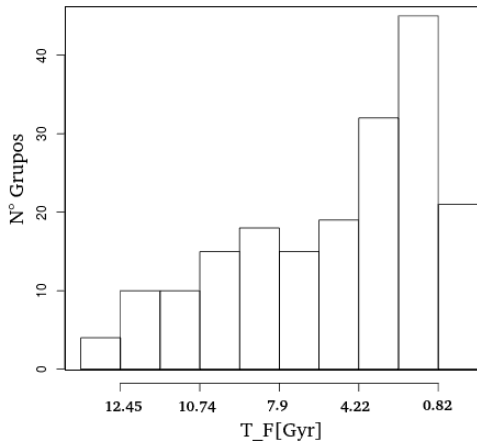


Fig. 3: Distribución de los tiempos transcurridos desde que tuvieron su última fusión mayor los grupos identificados por el test de DS complementado con el test de oblicuidad y que tienen 2 subestructuras detectadas por mixtura de gaussianas.

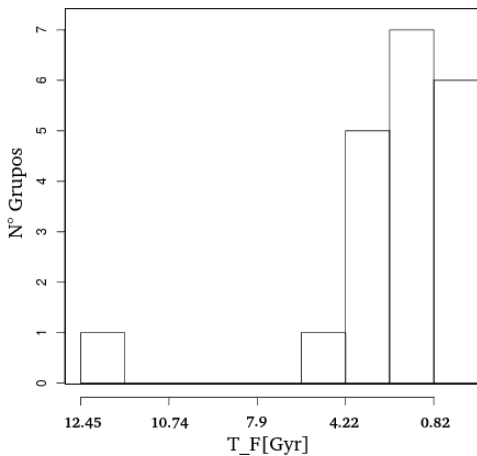


Fig. 4: Distribución de los tiempos transcurridos desde que tuvieron su última fusión mayor los grupos identificados por todos los métodos y que tienen 2 subestructuras detectadas por mixtura de gaussianas.

del identificador *friends of friends* (Davis et al., 1985), corrido sobre el SDSS DR3 (Abazajian et al., 2005), el SDSS DR8 (Aihara et al., 2011) y el 2Df (Colless et al., 2001) respectivamente. Los resultados obtenidos al aplicar los métodos estadísticos a los diferentes catálogos de galaxias se muestran en la Tabla 1. Cabe destacar que las proporciones de cúmulos detectados por los diferentes métodos varían entre los catálogos, lo que puede deberse a las diferencias en los métodos utilizados para la construcción de los mismos (diferente longitud de linkeo en el identificador *friend of friend*, diferentes corte en la densidad de galaxias con respecto a la media del universo, etc.), los cuales serán unificados en un trabajo a futuro.

Tabla 1: Resultados obtenidos al aplicar las diferentes técnicas estadísticas a los catálogos de cúmulos de galaxias.

Catalog	Berlind et al.	Tempel et al.	Eke et al.
Galaxy survey	SDSS DR3	SDSS DR8	2dF
$N^\circ clusters$ ($N_{gal} > 30$)	77	389	144
$DS + SK$	30	132	60
Ds iter	20	86	41
Mclust	15	80	38

5. Conclusiones y trabajo a futuro

En este trabajo se presentó un método de detección de cúmulos de galaxias en proceso de interacción basado en la identificación de las subestructuras presentes en dichos cúmulos. En primer lugar el método fue calibrado estudiando las tasas de efectividad al aplicarlo a catálogos simulados de galaxias y luego fue utilizado para analizar diferentes catálogos de grupos y cúmulos de galaxias reales, encontrando diferentes tasas de detección, lo que puede deberse a diferencias en los métodos utilizados para construir los catálogos. En un trabajo a futuro se avanzará en el estudio comparativo de las tasas de detección construyendo catálogos simulados de cúmulos y grupos utilizando los mismos criterios que en los catálogos reales. Con el objetivo de medir estadísticamente propiedades de la partícula de materia oscura, tales como el cociente entre la sección eficaz de la auto-interacción sobre la masa mediante los métodos propuestos por Markevitch et al. (2004), se estudiarán con mayor detalle las propiedades de los cúmulos identificados y de sus subestructuras a través de lentes gravitacionales y simulaciones numéricas de las colisiones.

Referencias

- Abazajian K., et al., 2005, AJ, 129, 1755
 Abazajian K. N., et al., 2009, ApJS, 182, 543
 Aihara H., et al., 2011, ApJS, 193, 29
 Berlind A. A., et al., 2006, ApJS, 167, 1
 Colless M., et al., 2001, MNRAS, 328, 1039
 Davis M., et al., 1985, ApJ, 292, 371
 De Lucia G., Blaizot J., 2007, MNRAS, 375, 2
 Dressler A., Shectman S. A., 1988, AJ, 95, 985
 Eke V. R., et al., 2004, MNRAS, 355, 769
 Fraley C., Raftery A. E., 2002, Journal of the American Statistical Association, 97, 611
 Markevitch M., et al., 2004, ApJ, 606, 819
 Pinkney J., et al., 1996, ApJS, 104, 1
 R Core Team 2013, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
 Springel V., et al., 2005, Nature, 435, 629
 Tempel E., Tago E., Liivamägi L. J., 2012, A&A, 540, A106