

# New Insights into Galaxy Clusters: from Simulations to Observations

Autora: Susana Planelles Mira  
(Susana.Planelles@uv.es)

Tesis doctoral dirigida por: Vicent Quilis Quilis

Centro: Departament d'Astronomia i  
Astrofísica, Universitat de València

Fecha de lectura: 31 de mayo de 2011

El trabajo llevado a cabo durante esta Tesis se enmarca dentro del campo de la Cosmología Numérica y se centra en el estudio de la formación y la evolución de los cúmulos de galaxias. En este sentido, el presente estudio se ha centrado en varias líneas de investigación íntimamente relacionadas que tratan con el análisis teórico y numérico de los cúmulos de galaxias: (i) el problema de encontrar los halos de materia oscura, (ii) nuevas mejoras en simulaciones cosmológicas y, (iii) la formación y evolución de los cúmulos de galaxias.

En los últimos treinta años, la Cosmología Computacional ha contribuido de forma crucial a nuestra comprensión sobre la formación y evolución del Universo. No obstante, a pesar de los logros alcanzados, las simulaciones hidrodinámicas/N-cuerpos actuales todavía presentan importantes discrepancias con las observaciones, especialmente en las regiones internas de los cúmulos de galaxias más masivos. Entre estas discrepancias podemos citar, por ejemplo, la ruptura de las relaciones de la escala auto-semejantes o el problema de los flujos de gas frío (véase, por ejemplo, Borgani & Kravtsov, 2009). Estas discrepancias han motivado la idea de que, además de gravedad y dinámica de gases adiabática, procesos no gravitacionales relacionados con la componente bariónica del Universo deben ser incluidos en nuestras simulaciones.

En este contexto, de forma complementaria a los diferentes procesos no gravitacionales que están siendo incluidos en las simulaciones para explicar las discrepancias existentes, es crucial describir de forma adecuada los distintos procesos gravitacionales inherentes a la propia formación jerárquica de las estructuras cósmicas. En esta línea, las fusiones de cúmulos de galaxias son cruciales para entender sus escenarios de formación. Además, durante estas fusiones se producen fenómenos de turbulencia y de mezclado y se generan ondas de choque que influyen directamente en las propiedades del medio intracúmulo (ICM) y, por tanto, de los cúmulos de galaxias. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es describir, de forma autoconsistente, algunos de los procesos de calentamiento asociados con la propia evolución jerárquica de los cúmulos de galaxias en un contexto puramente cosmológico. Para ello, con tal de identificar las distintas estructuras cosmológicas y analizar sus historias evolutivas, se ha hecho uso de un código cosmológico euleriano y un buscador de halos basado en el método de sobredensidad esférica (SO).

El código cosmológico empleado en esta Tesis, MASCLLET (Quilis, 2004), es un código de malla basado en un esquema de refinamiento de malla adaptativo (AMR) capaz de simular la evolución conjunta de materia oscura, gas y componente estelar del Universo. Las propiedades de este tipo de códigos son fundamentales para describir procesos hidrodinámicos como ondas de choque así como procesos de mezclado y turbulencia del gas. Con tal de analizar los resultados de estas complejas simulaciones cosmológicas,

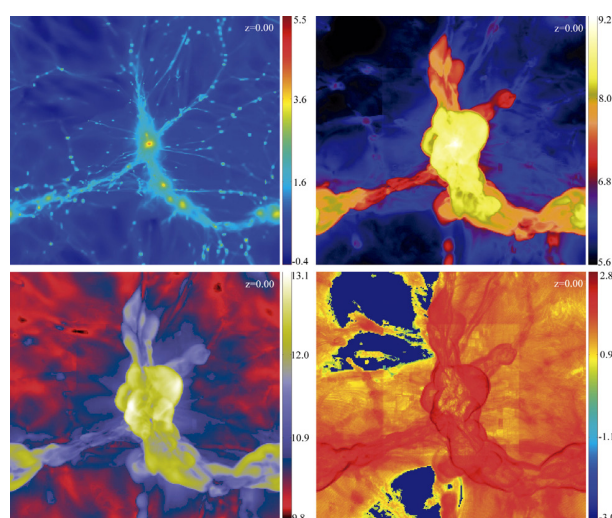
se ha desarrollado un buscador de halos (ASOHF, Planelles & Quilis, 2010) basado en el método SO. Esta herramienta permite extraer los halos de materia oscura y analizar sus principales propiedades físicas de forma muy precisa. Haciendo uso de estas herramientas numéricas, se ha analizado el papel que juegan las fusiones de cúmulos de galaxias y las ondas de choque generadas durante estos eventos como fuentes de calentamiento del ICM en un contexto puramente cosmológico. Para ello, se ha simulado con MASCLLET la evolución de dos volúmenes de universo relativamente grandes (142 y 64 Mpc comóviles, respectivamente). En estas dos simulaciones la única fuente relevante de calentamiento tenida en cuenta ha sido la gravitacional, es decir, la inherente a la propia evolución jerárquica del Universo.

Analizando estas simulaciones se ha demostrado que las fusiones de cúmulos de galaxias y las ondas de choque cosmológicas juegan un papel fundamental, no sólo en las propiedades de los cúmulos de galaxias, si no también en la termalización del ICM.

En particular, se ha comprobado que las fusiones mayores de cúmulos de galaxias influyen directamente en la existencia de núcleos fríos en el centro de los cúmulos más masivos, así como en la dispersión observada en las relaciones de escala auto-semejantes (Planelles & Quilis, 2009). Por su parte, las ondas de choque, tanto externas como internas, también son cruciales en las propiedades de los cúmulos de galaxias, contribuyendo de forma muy eficiente a la virialización de los halos y a la termalización del Universo (Figura 1). Además, se ha comprobado que la fuerza de las ondas de choque generadas dentro del radio virial de los cúmulos de galaxias presenta cierta correlación con la masa virial de éstos, estando directamente relacionada con las diferentes historias evolutivas de los cúmulos.

## Referencias:

Borgani, S. & Kravtsov, A., 2009. ArXiv0906.4370  
Planelles, S. & Quilis, V., 2009. MNRAS, 399:410  
Planelles, S. & Quilis, V., 2010. A&A, 519:A94  
Quilis, V., 2004. MNRAS, 352:1426



Estructura a gran escala de un volumen de universo simulado según la distribución de diferentes cantidades termodinámicas a  $z=0$ . Cada panel representa un corte de 10 Mpc de profundidad y 64 Mpc de lado. Los diferentes paneles muestran: el contraste de la densidad de gas (esquina superior izquierda), la temperatura del gas (esquina superior derecha), la entropía del gas (esquina inferior izquierda) y el mapa de ondas de choque según la distribución de números de Mach (esquina inferior derecha). Todas las cantidades se muestran en escala logarítmica.