Jesús David Prada González

1010220757

3204737920

[jd.prada1760@uniandes.edu.com](mailto:jd.prada1760@uniandes.edu.com)

Galaxias en la red cósmica

Entender cómo se forman las galaxias siempre ha sido un problema de gran interés para la astronomía observacional y teórica. Visto de una manera sencilla, el problema se reduce a usar leyes físicas fundamentales para explicar la formación y evolución de galaxias en términos de sus características importantes observables al igual que se haría idealmente con la mecánica estadística para producir la termodinámica. Sin embargo, debido a la no linealidad asociada a estos sistemas y a las extremas condiciones que requieren de modelos relativistas y cuánticos, los modelos de formación de galaxias todavía son muy poco predictivos [1]. Poco ayuda a esta situación que observacionalmente no hay control sobre el sistema, y los modelos de formación de galaxias sólo pueden ser comprobados hasta cierto punto por estos medios.

En este contexto, los métodos computacionales numéricos se tornan una herramienta importante para analizar estos modelos altamente no lineales. Sin embargo, los métodos numéricos asociados a un modelo analítico necesitan de condiciones iniciales como entrada, que en el caso de la formación de galaxias, serían las distribuciones de los componentes primordiales del universo, es decir, la materia oscura y la materia bariónica. Aquí, la materia oscura (DM) es tomada como un tipo de materia que interactúa por medios gravitacionales únicamente, a diferencia de la materia bariónica, que interactúa también por medios electromagnéticos y por las demás fuerzas de la naturaleza.

En este orden de ideas, las simulaciones cosmológicas de materia oscura ( y bariónica ), que consisten prácticamente en la evolución temporal de un conjunto de N cuerpos que interactúan únicamente por medios gravitacionales, juegan un papel muy importante en el estudio de los modelos de formación de galaxias, ya que proporcionan el input de condiciones iniciales necesario para deducir, por modelos analíticos, las características históricas de las galaxias. El acople entre la entrada de condiciones iniciales simuladas y los modelos analíticos para galaxias, es lo que se conoce como modelos semi-analíticos para moldear galaxias en las simulaciones cosmológicas.

Ahora bien, debido a que observacionalmente no podemos verificar con exactitud la historia de formación de galaxias, una de las maneras de verificar los modelos es analizando la estadística de características observables predicha. Para este fin, una herramienta importante para analizar la estadística del universo observable son las conocidas como funciones de masa. Las funciones de masa no son más que la distribución de masas de las galaxias, cuya masa es una medida observacional directa, proveniente de la integración de sus luminosidades. En otras palabras, estas funciones son histogramas de masa, que además son presentados en forma logarítmica para mayor versatilidad en su análisis. Esto se debe a que los modelos asociados van como leyes exponenciales y/o leyes de potencias, como el modelo de Schechter [2].

De esta manera, las funciones de masa necesitan de un gran número de elementos de muestra para poder arrojar resultados confiables y es por esta razón que ha sido sólo recientemente, gracias a grandes catálogos de galaxias como ALFALFA, que se han podido obtener funciones de masa razonables para analizar por medios observacionales [3]. Por esta razón, el efecto de los modelos de formación de galaxias sobre las funciones de masa ha sido muy poco verificado. Además los pocos resultados obtenidos recientemente no son muy concluyentes, y llegan incluso a contradecirse entre sí [3].

Consecuentemente, una gran motivación para este proyecto es investigar las funciones de masa asociadas a las galaxias de Illustris. Por una parte, con este proyecto se puede apoyar a alguno de aquellos resultados observacionales contradictorios y refutar el otro. Por otra parte, esta es una simulación con muy buen detalle en características de las galaxias como la masa de sus agujeros negros centrales, lo cual permite relacionar las diferentes funciones de masa bariónica y de materia oscura.

Específicamente, se propone reproducir las funciones de masa con condiciones lo más parecidas al estudio observacional realizado por Michael Jones et al. [3], en donde el criterio más importante a reproducir es el de la clasificación de galaxias con respecto al entorno cosmológico relacionado con la distancia elemento más cercano. Así, si una galaxia tiene su vecino más cercano a una distancia muy corta o muy larga, se deduce que ésta está en un entorno denso o poco denso, respectivamente. Con esta clasificación, se pueden obtener las funciones de masa de grupos de galaxias clasificadas por diferentes entornos con el fin de analizar el efecto de dicho entorno en los parámetros de las diferentes distribuciones de masa.

El objetivo principal de este estudio sería verificar si los resultados observacionales obtenidos por Jones et al. [3] son respaldados por los resultados asociados a la simulación Illustris. Complementariamente, aprovechando el control ventajoso sobre la información del sistema en las simulaciones cosmológicas de materia oscura, se propone estudiar, usando de una clasificación diferente de entornos, las funciones de masa que son estudiadas con el análogo método de vecinos cercanos.

Esta clasificación, propuesta por Jaime Forero et al. [4], estaría asociada al campo de densidades de la simulación, donde un análisis del gradiente de potencial producido identifica la morfología de la estructura cosmológica en que se encuentra una galaxia. Estas estructuras son identificadas como vacíos, hojas, filamentos y clusters, siendo los vacíos las estructuras menos densas y los clusters las más densas. El estudio de las funciones de masa por este método de naturaleza distinta proporcionaría argumentos de peso para apoyar o no los estudios observacionales.

Finalmente, dada la versatilidad y precisión de la simulación Illustris, se esperan analizar las relaciones entre las funciones de masa bariónica, de materia oscura, y de agujeros negros para distintos entornos usando los métodos anteriore, todo con el fin de verificar computacionalmente las intuiciones asociadas a los modelos de formación de galaxias que no pueden ser estudiadas por medios observacionales.

**Cronograma de actividades**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tarea/Semana** | **1** | **3** | **5** | **7** | **9** | **11** | **13** | **15** | **17** | **19** | **21** | **23** | **25** | **27** | **29** | **31** | **33** | **35** | **37** | **39** | **41** | **43-52** |
| **1** | **X** | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** |  |  |  |  |  | **X** | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5** |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **6** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **7** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **8** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **9** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |  |
| **10** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** |  |  |  |  |  |
| **11** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** | **X** |  |  |  | **X** | **X** | **X** | **X** | **X** |  |  |
| **12** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | **X** | **X** | **X** | **X** | **X** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Tarea** | **Descripción** |
| **1** | Revisión bibliográfica |
| **2** | Capacitación del uso de las bases de datos de la simulación Illustris |
| **3** | Diseño y desarrollo del código para clasificar entornos por el método de vecinos cercanos |
| **4** | Corrección de errores y optimización del código |
| **5** | Implementación del código para el cálculo de funciones de masa |
| **6** | Análisis de resultados |
| **7** | Diseño y desarrollo del código para clasificar entornos por el método del campo de densidades |
| **8** | Corrección de errores y optimización del código |
| **9** | Implementación del código para el cálculo de funciones de masa |
| **10** | Análisis de resultados |
| **11** | Estudio de la relación entre las funciones de diferentes tipos de masa |
| **12** | Escritura del documento a publicar |

**Sobre el tutor**

Jaime Ernesto Forero Romero es astrofísico y profesor de planta en el Departamento de Física de la Universidad de los Andes desde el 2012. Su investigación se centra en la aplicación de métodos computacionales para estudiar la formación de galaxias y cosmología. Cuenta con cerca de 23 publicaciones internacionales en el área de astrofísica. Estudió física en la École Normale Supérieure en Paris y tiene un doctorado en Física de la École Normale Supériure de Lyon. Después de una primera postdoctoral de cuatro años en el Instituto Leibniz de Astrofísica en Potsdam (Alemania), recibió la beca Gruber en el 2011, otorgada por la Unión Astronómica Internacional, para investigar durante un año en el Departamento de Astronomía de la Universidad de California en Berkeley. En su carrera como Investigador Junior de Uniandes ya ha graduado un estudiante de maestría, cuatro de pregrado y ha servido como tutor de una investigadora postdoctoral.

Debido a su trayectoria profesional y experiencia, Jaime Forero puede proporcionar una guía adecuada para el buen desarrollo del proyecto. Además, como es mencionado anteriormente, uno de los objetivos importantes es el uso de la definición de entorno con el campo de densidades para comparar funciones de masa, y dado que este método fue desarrollado por Jaime Forero et al. [4], su colaboración se torna esencial.

**Bibliografía**

[1] S. Genel, M. Vogelsberger, V. Springel, D. Sijacki, D. Nelson, G. Snyder, V. Rodriguez-Gomez, P. Torrey, and L. Hernquist. Introducing the Illustris project: the evolution of galaxy populations across cosmic time. MNRAS, 445:175–200, November 2014.

[2] P. Schechter. An analytic expression for the luminosity function for galaxies. APJ, 203:297–306, January 1976.

[3] M. G. Jones, E. Papastergis, M. P. Haynes, and R. Giovanelli. Environmental dependence of the H I mass function in the ALFALFA 70% catalogue. MNRAS, 457:4393–4405, April 2016.

[4] J. E. Forero-Romero, Y. Hoffman, S. Gottl ̈ober, A. Klypin, and G. Yepes. A dynamical classification of the cosmic web. MNRAS, 396:1815–1824, July 2009.