

Formación y Evolución de las Galaxias

Alfredo J. Mejía^{1,2}

¹Posgrado de Física Fundamental
Universidad de Los Andes

²Centro de Investigaciones de Astronomía

21 de abril de 2017

MOTIVACIÓN I

Si bien los sondeos de galaxias de última generación han revelado detalles de los fenómenos físicos que intervienen en la formación y evolución de las galaxias, una construcción física *ab initio* permanece aún elusiva. La principal limitación en este sentido sigue siendo la tecnología. Por otra parte, desde el punto de vista teórico, mediante simulaciones cosmológicas autoconsistentes de formación de estructuras a gran escala, hemos llegado a la satisfactoria realización de que conocemos (y hasta cierto punto, entendemos) los aspectos físicos más relevantes en la formación de las galaxias. Existen esencialmente dos formas de modelar los procesos físicos de la formación y la evolución de las galaxias en dichas simulaciones: uno es mediante simulaciones hidrodinámicas de materia oscura y bariónica y el otro es el llamado método semianalítico; aunque ambos métodos son fundamentalmente distintos, obtienen resultados similares. Más aún, estos están en acuerdo cualitativo con las observaciones. Aún así, existen fenómenos físicos de gran importancia en la construcción de una teoría de formación de galaxias, que carecen

MOTIVACIÓN II

aún de un entendimiento completo. Es el objeto de este seminario hacer un recuento fenomenológico de los procesos físicos que intervienen en la formación de las galaxias, señalar las incertidumbres que existe en cada proceso y establecer las perspectivas a futuro. Ya que el enfoque es fenomenológico, este seminario estará naturalmente sesgado hacia los resultados del método semianalítico, sin embargo, cuando sea pertinente señalaré las diferencias entre los resultados de ambos métodos en comparación con las observaciones.

ANTECEDENTES I

FORMACIÓN DE GALAXIAS. Es comúnmente aceptado (y físicamente plausible) que en un universo en expansión acelerada, dominado por materia oscura fría las galaxias se forman en regiones de sobredensidad que llamamos halos de materia oscura (**Davis1985**). Estos halos pueden, por acción de la gravedad, fusionarse con halos vecinos para dar origen a galaxias más masivas. Este proceso es denominado formación jerárquica de galaxias (**Baugh1996; Kauffmann1996**). Un conjunto de procesos físicos que tienen lugar a diferentes escalas espaciales ($\sim 10—10^6$ pc) y temporales ($\sim 10^6—10^9$ años) regulan la subsiguiente evolución de las galaxias. En los primeros intentos por teorizar dicho proceso de formación y evolución de las galaxias en el marco de la cosmología moderna, se identificaron los siguiente procesos físicos como fundamentales:

- Fusión de (sub)halos,

ANTECEDENTES II

- enfriamiento del material bariónico (termodinámica y transferencia radiativa),
- formación estelar,
- evolución química, y
- *feedback* de la formación estelar (**Larson1974a; Larson1974b; White1978**).

Aunque en los primeros modelos de formación de galaxias lograban predecir algunas propiedades globales, como la función de luminosidad de las galaxias y la existencia de galaxias satélites y galaxias centrales masivas compartiendo el mismo halo de materia oscura (**White1978**). Más aún, el modelo de colapso monolítico aún permitía predecir algunas de las propiedades observadas en galaxias elípticas (**Larson1974a; Larson1974c**). En particular, estos modelos predecían colores más azules hacia el núcleo galáctico que los observados, esto debido a que la tasa de formación estelar

ANTECEDENTES III

se extendía en desde el momento en que el colapso iniciaba hasta el presente. **Larson1974c** sugería que para ‘apagar’ la formación estelar en este tipo de galaxias, una fuente de energía en el núcleo de estas galaxias era necesaria para barrer y calentar el material gaseoso. La realización de que algunos fenómenos físicos aún faltaban en la construcción de una teoría para describir la formación y evolución de las galaxias, era clara.

Primeros indicios de que un número significativo de galaxias podrían albergar un agujero negro supermasivo ($\sim 10^6 — 10^9 M_{\odot}$) apareció entre finales de los 80's y comienzos de los 90's (**Kormendy1995**). Estos indicios, aunque en su mayoría circunstanciales, fueron suficientes para motivar la búsqueda de agujeros negros supermasivos en el universo local.

Eventualmente, los movimientos estelares a escalas de unos pocos parsecs proveyó evidencia irrefutable de que muchas galaxias (independientemente de la clase morfológica), albergaban un agujero negro supermasivo en su

ANTECEDENTES IV

núcleo. Más importante aún, las masas de dicho agujero negro estaban correlacionadas con la luminosidad (**Magorrian1998**) y con la masa (**Ferrarese2000**). Estas correlaciones indicaban claramente que debía existir un vínculo fundamental entre la formación de las galaxias y la formación del agujero negro supermasivo que estas albergan. Eventualmente, los intentos por teorizar la formación de las galaxias comenzaron a incluir la formación y evolución de agujeros negros supermasivos y los efectos ambientales que estos producían (**Springel2005**):

- Formación de agujeros negros supermasivos, y
- *feedback* de núcleos activos.

PREDICCIONES. Los primeros intentos por simular la formación de estructuras a escalas cosmológicas, lograban hacer predicciones cualitativamente en acuerdo un conjunto de observaciones:

- La formación de estructuras sobredensas,

ANTECEDENTES V

- la formación de cúmulos de galaxias,
- las propiedades cinemáticas de esferoides y discos estelares,

Sin embargo fallaron en predecir propiedades observadas directamente como los colores y otras estimadas como la tasa de formación estelar.

TEORÍA DE FORMACIÓN DE GALAXIAS I

Ahora podemos decir que somos conscientes de los fenómenos más importantes que intervienen en la formación de estructuras a gran escala en el universo.

- Fundamento físico.
- Fenómenos que sabemos intervienen.
- Resultados.

SIMULACIONES HIDRODINÁMICAS I

- Física de entrada.
- Procedimientos.
- Resultados.

SIMULACIONES SEMIANALÍTICAS I

- Física de entrada.
- Procedimientos.
- Resultados.

ANÁLISIS COMPARATIVO I

- Fortalezas y debilidades de ambos métodos.
- Perspectivas.

PODER PREDICTIVO I

- Comparación de los resultados de las simulaciones con las observaciones.
- Discutir las incertidumbres que intervienen cuando se falla en la predicción.
- ¿Cómo se puede mejorar?.

RESUMEN Y PERSPECTIVAS I

- Mencionar los fenómenos físicos fundamentales que intervienen en la formación de las galaxias.
- Mencionar las incertidumbres en cada uno de estos fenómenos.
- Mencionar resultados más importantes de las simulaciones.
- Decir cuales son las perspectivas.

REFERENCIAS I