

## **Formación y Evolución de Galaxias**

**Modalidad:** Seminario de posgrado

**Responsable:** Dra. Sofía A. Cora

**Duración:** cuatrimestral (primer cuatrimestre)

**Carga horaria:** 64 hrs. (4 hrs. clases teóricas semanales)

**Contacto:** [cursofeg@gmail.com](mailto:cursofeg@gmail.com)

### **Objetivo y contenido del seminario**

El objetivo del Seminario de Posgrado “Formación y Evolución de Galaxias” es proporcionar una descripción de los procesos físicos y de las observaciones astronómicas que subyacen a nuestra comprensión actual de la formación y evolución de galaxias en un Universo dominado por materia oscura y energía oscura.

El contenido del seminario se enfoca en los principios generales involucrados en la construcción de modelos teóricos utilizados para interpretar los datos observacionales, considerando que estos principios no cambian tan rápidamente como los detalles de observaciones o modelos específicos, los cuales corren el riesgo de quedar desactualizados en poco tiempo en un campo de rápido desarrollo, como lo es la formación y evolución de galaxias. El contenido del seminario comprende una descripción general de los aspectos observacionales relacionados con la formación y evolución de galaxias; descripción de la estructura, formación y evolución de galaxias individuales, y las propiedades estadísticas de la población de galaxias; descripción de las simulaciones numéricas de N-cuerpos e hidrodinámicas y de los modelos semi-analíticos utilizados para contribuir al entendimiento de la formación y evolución de galaxias. Las simulaciones y modelos permiten interpretar datos observacionales y realizar predicciones que podrán ser constatadas con resultados de futuras observaciones.

### **Modalidad de cursada y evaluación**

Los alumnos deberán realizar dos exposiciones durante las clases teóricas en la que presentarán artículos científicos sobre algún tema específico. La evaluación final consistirá en el sorteo de uno entre cinco artículos científicos presentados durante la cursada por todos los alumnos. En caso de que los artículos presentados no lleguen a la totalidad de cinco, se considerará un artículo vinculado a algunos de los temas dictados.

### **Programa**

#### **I. Introducción. Aspectos observacionales**

Introducción. Observaciones astronómicas. Fotometría. Espectroscopía. La diversidad de la población de galaxias: clasificación morfológica, luminosidad y masa estelar, tamaño y brillo superficial, fracción de gas frío, color, actividad nuclear. Estructura a gran escala de la distribución espacial de galaxias: cúmulos de galaxias, grupos de galaxias.

## II. Propiedades estadísticas de la población de galaxias

Propiedades estadísticas de la población de galaxias: efectos de selección de los relevamientos de galaxias. Función de luminosidad: derivación, correcciones K. Distancias cosmológicas. Volúmenes cosmológicos. Función de masa estelar, distribución de tamaños, relación masa-metalicidad. Propiedades estadísticas de la población de galaxias: distribución de color (relación color-magnitud). Dependencia de la función de luminosidad con el color, la morfología, y la densidad del ambiente. Dependencia con el ambiente de la relación color-magnitud, de la fracción de galaxias rojas, y de la fracción de galaxias pasivas.

## III. Galaxias a alto redshift

Evolución de la estructura y morfología de las galaxias. Redshifts fotométricos. Relevamientos de galaxias a  $z=1$ . Detección de galaxias muy distantes: Galaxias Lyman-Break, Lyman-alpha emitters. Galaxias con brotes de formación estelar. Fuentes submilimétricas, objetos extremadamente rojos, galaxias rojas distantes. Formación estelar cósmica. Diagnósticos para estimar la tasa de formación estelar en galaxias: continuo UV, líneas de emisión nebulares, líneas prohibidas, continuo en el infrarrojo lejano. Función estelar de masa y su evolución. Evolución de la función estelar de masa de galaxias pasivas y formadoras de estrellas.

## IV. Simulaciones numéricas cosmológicas

Simulaciones de materia oscura: técnicas numéricas. Resultados claves de las simulaciones de N-cuerpos: distribución de materia oscura en gran escala. Cruce de capas y virialización. Densidad y masa de los halos de materia oscura colapsados. Función de masa de halos. Subestructuras. Ensamble de los halos de materia oscura (árboles de fusión de halos). Estructura interna de los halos de materia oscura: perfil de densidad, momento angular.

## V. Calentamiento y enfriamiento del gas

Formación de halos de gas caliente: *shocks* por acreción. Equilibrio hidrostático. Temperatura virial. Enfriamiento radiativo en halos de gas caliente: procesos de enfriamiento, función de enfriamiento. Equilibrio de ionización. Función de enfriamiento en condiciones de equilibrio de ionización colisional. Tiempo de enfriamiento. Enfriamiento del gas y formación de galaxias. Modo caliente vs. modo frío.

## VI. Formación estelar

Formación estelar en galaxias. Sitios de formación estelar: nubes moleculares gigantes (propiedades observadas). Formación de nubes moleculares gigantes: formación y destrucción de hidrógeno molecular, formación de la nube, inestabilidad térmica, inestabilidad gravitacional de disco, inestabilidad de Parker; brazos espirales; interacciones y fusiones de galaxias. Mecanismos que controlan la eficiencia de formación estelar: campos magnéticos, difusión ambipolar, turbulencia supersónica, auto-regulación. Leyes empíricas de formación estelar. Formación estelar en modelos semi-analíticos de formación de galaxias.

## VII. Feedback estelar y de núcleos galácticos activos

Feedback estelar y vientos galácticos. Feedback de supernovas: expansión de un remanente de supernova en un medio uniforme. Calentamiento por feedback de supernovas. Expansión de un

remanente de supernova en un medio inhomogéneo. Relación entre eficiencia del feedback de supernovas y otros mecanismos de feedback estelar. Simulaciones numéricas hidrodinámicas de feedback estelar. Población de galaxias activas: galaxias Seyfert, radio-galaxias, quasars y QSOs, blazars. Comparación con galaxias normales y con brotes estelares. Modelo de AGN: paradigma del agujero negro supermasivo. Discos de acreción: modelo de disco geoméricamente fino y ópticamente grueso (estructura, espectro). Límites de Eddington. Flujos de acreción frío y flujos de acreción caliente. Jets relativistas. Vientos no relativistas. Visión global de flujos de acreción y eyección alrededor de agujeros negros súper masivos: dependencia con la tasa de acreción de masa y masa del agujero negro súper masivo. Modelo unificado de AGN. Feedback radiativo y feedback mecánico.

## VIII. Simulaciones numéricas de formación de galaxias

Modelos semi-analíticos de formación y evolución de galaxias. Simulaciones hidrodinámicas. Análisis del impacto de feedback de SN y AGN en las propiedades de las galaxias a partir de resultados de un modelo semi-analítico.

## IX. Características y formación de galaxias disco

Características de galaxias disco: perfil de brillo superficial, colores, estructura vertical del disco, halos estelares, barras y brazos espirales. Características de galaxias disco: contenido de gas (hidrógeno atómico y molecular), metalicidad del gas (perfiles de metalicidad), cinemática (curvas de rotación), relación de Tully-Fisher. La Vía Láctea. Formación de galaxias disco. Simulaciones numéricas de formación de galaxias disco: efecto de feedback de supernovas, discos galácticos, diversidad de galaxias (diversa historia de acreción/fusión; formación de barras), la Vía Láctea.

## X. Características y formación de galaxias elípticas

Características de galaxias elípticas: perfil de brillo superficial, parámetros estructurales, formas de las isofotas, colores, propiedades cinemáticas, relaciones de escala, contenido de gas. Formación de galaxias elípticas: escenario de formación de colapso monolítico vs. escenario de formación por fusión. Simulaciones numéricas de formación de galaxias elípticas.

## XI. Características y formación de galaxias enanas

Características de galaxias enanas: diagrama de parámetros de escala, dicotomía en diagrama de parámetros de escala efectivos. Propiedades generales de distintas poblaciones de galaxias enanas. Escenarios de formación de galaxias enanas en cúmulos de galaxias: escenario de transformación de enanas irregulares por presión de barrido (*ram pressure stripping*), escenario de transformación de galaxias disco por acoso galáctico (*galaxy harassment*), escenario de transformación de galaxias elípticas gigantes por efectos de marea (*tidal stripping*).

## Bibliografía

- Barbuy, B., Chiappini, C., Gerhard, O., 2018, ARA&A, 56, 223.
- Blanton, M. R., Moustakas, J., 2009, ARA&A, 47, 15.
- Cappellari, M., 2016, ARA&A, 54, 597.
- Carilli, C. L., Walter, F., 2013, ARA&A, 51, 105.
- Conroy, C., 2013, ARA&A, 51, 39.
- Conselice, C. J., 2014, ARA&A, 52, 291.

- D'Onghia, E., Fox, A. J., 2015, ARA&A, 54, 363.
- Kormendi, J., Ho, L. C., ARA&A, 2013, 51, 511.
- Longair, M. S., 2008, Galaxy Formation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Madau, P., Dickinson, M., 2014, ARA&A, 52, 415.
- Maiolino, R., Mannucci, F., 2019, A&ARv, 27, 3.
- Mo, H., van den Bosch, F. C., White S. D. M., 2010, Galaxy Formation and Evolution, Cambridge; Nueva York: Cambridge University Press.
- Naab, T., Ostriker, O. J., 2017, ARA&A, 55, 59.
- Putman, M. E., Peek, J. E. G., Joung, M. R., 2012, ARA&A, 50, 491.
- Salucci, P., 2019, A&ARv, 27, 2.
- Shapley, A. E., 2011, ARA&A, 49, 5.
- Silk, J., Mamon, G. A., 2012, RAA, 917, 946.
- Somerville, R. S., Dave, R., 2015, ARA&A, 53, 51.
- Sparke, L. S., Gallagher III, J. S., Galaxies in the Universe, an Introduction, 2007, Cambridge; Nueva York: Cambridge University Press.
- Stark 2016, D. P., ARA&A, 54, 761.
- Tumlinson, J., Peebles, M. S., Werk J. K., 2017, ARA&A, 55, 38.
- Wechsler, R. H., Tinker, J. L., 2018, ARA&A, 56, 435.
- Weinberg, S., 1972, Gravitati