

---

# Talleres Bling Bling Universe

## Unidad 3: Ley de Hubble

NÉSTOR ESPINOZA<sup>1</sup> & CLAUDIA ARAYA<sup>2</sup>  
10 de Diciembre, 2014

### Abstract

“Ley de Hubble” es la tercera y última unidad del programa Bling Bling Universe. Ésta pretende introducir el resultado quizá más importante del siglo XX: la expansión del universo. Para lograr entender este concepto, los estudiantes deberán ser capaces de analizar espectros de galaxias para poder medir las velocidades de recesión de estas, además de evaluar y analizar imágenes para poder generar indicadores de distancia, lo que les permitirá generar diagramas de Hubble, ayudándolos a re-descubrir el gran aporte que los estudios de Hubble (1929) y Hubble & Humason (1931) hicieron a la astronomía moderna.

*Keywords:* astronomía, galaxias, redshifts, ley de hubble

### Reseña

La idea fundamental de esta unidad es la de tratar de corroborar los estudios de Hubble (1929) y Hubble & Humason (1931), en donde se prueba que las velocidades de recesión de las galaxias son directamente proporcionales a la distancia de estas, lo cual se interpreta como una prueba empírica de la expansión del universo. Para lograr esto, los estudiantes son inicialmente introducidos al concepto del “diagrama de Hubble”: un gráfico entre la distancia (que inicialmente se medirá con magnitudes aparentes) de las galaxias y su velocidad de recesión (que inicialmente se medirá usando el *redshift* de las galaxias). Luego de comprender los problemas tanto estadísticos (e.g., ¿podrá ser esto una coincidencia simplemente?, ¿existirá algún sesgo en nuestras mediciones?) como físicos (e.g., ¿cómo se mide exactamente

---

<sup>1</sup>nestor.espinoza@fisicaitinerante.cl

<sup>2</sup>claudia.araya@fisicaitinerante.cl

el redshift?, ¿son las magnitudes aparentes una buena manera de medir distancias?) de este primer diagrama de Hubble (que, justamente, fueron las críticas originales al primer trabajo de Hubble (1929)), los estudiantes serán introducidos a los detalles de estas mediciones.

La primera parte consiste entonces en una introducción detallada del *redshift*; desde su cálculo hasta su significado físico. Para esto se introducen algunas líneas de emisión espectrales en galaxias, las que permitirán realizar los cálculos manualmente para comprender qué nos dice exactamente esta magnitud, donde el estudiante deberá analizar espectros de galaxias para poder realizar los cálculos. Luego, el problema del cálculo de distancias es introducido, en donde los estudiantes propondrán sus propias maneras de medir distancias a galaxias lejanas.

Finalmente, y luego de comprender todos los detalles de la creación de un diagrama de Hubble, se centra la atención en los estudios de cúmulos de galaxias como una forma de mitigar la contribución del *redshift* dinámico de las galaxias, utilizando lo aprendido en la unidad 2 para realizar un estudio detallado.

### **Objetivo general**

El objetivo general de la unidad es que los estudiantes comprendan y valoren los resultados de Hubble (1929) y Hubble & Humason (1931), en donde se prueba empíricamente la expansión del universo.

### **Objetivos específicos**

1. Comprender los problemas físicos y estadísticos en la creación de un diagrama de Hubble.
2. Comprender la importancia de la Ley de Hubble.
3. Comprender el concepto de *redshift*.
4. Analizar espectros de galaxias, identificando líneas de emisión y usándolas para calcular el *redshift* de estas.
5. Comprender y evaluar los distintos métodos de medición de distancias relativas a galaxias.

### **Calendario de sesiones**

El siguiente es un calendario de sesiones correspondientes a las primeras clases de un taller típico del programa correspondiente a esta tercera y

última unidad. Cada sesión deberá durar 1:20 hrs. (90 minutos).

## **Clase 5: Introducción a la Ley de Hubble**

### *Objetivo*

Introducir la Ley de Hubble a los estudiantes, incluyendo el diagrama de Hubble y la interpretación del *redshift* como una consecuencia del efecto Doppler.

### *Contenidos y actividades*

- Recordar lo realizado en clase anterior. Clarificar conceptos, dudas, etc. (~ 10 mins.).
- ¿Qué es la ley de Hubble?, ¿cuáles son las implicancias de esta ley en la astronomía moderna y cuales fueron los problemas teóricos con esta ley experimental inicialmente? (~ 10 mins.)
- Creación de un diagrama de Hubble (Ejercicio 5, 6 y 7, guía Ley de Hubble). Discusión sobre los problemas con estos diagramas (~ 20 mins.)
- Discusión sobre maneras de medir distancias a galaxias; ¿es la magnitud aparente un buen diagnóstico de la distancia a una galaxia?, ¿qué otras posibilidades existen? (e.g., tamaños angulares de galaxias, distancias relativas, etc.) (~ 10 mins.).
- *Redshift* y el efecto Doppler. Significado de líneas de absorción y emisión (como saltos entre orbitales de los átomos). Serie de Balmer. (~ 20 mins.).
- Cálculo de velocidades de recesión y *redshifts* de galaxias reales (Ejercicio 14; ~ 20 mins.).

## **Clase 6: Creando un diagrama de Hubble con cúmulos de galaxias**

### *Objetivo*

Generar un diagrama de Hubble aplicando lo aprendido en las clases anteriores, probando la ley de Hubble.

### *Contenidos y actividades*

- Recordar lo realizado en clase anterior. Clarificar conceptos, dudas, etc. (~ 10 mins.).
- Introducción del problema de que  $redshift = redshift \text{ cosmológico} + redshift \text{ dinámico}$ . Búsqueda de alternativas: cúmulos de galaxias (~ 10 mins.).

- Análisis de redshifts de galaxias del cúmulo Abell 2255. Identificación de galaxias miembros del cúmulo por histogramas de redshifts, diagramas color-color y color-magnitud ( $\sim 20$  mins.).
- Definición del concepto de distancias relativas y generar discusión en torno a que medidor de distancia relativa a los cúmulos ocuparán (¿magnitud promedio de galaxias más brillantes?, ¿magnitud de la galaxia más brillante?, ¿tamaños relativos de las galaxias?, ¿tamaño relativo del cúmulo?;  $\sim 20$  mins.).
- Trabajo grupal para generar redshifts promedios y distancias a cúmulos de galaxias (e.g., a cada estudiante o grupo de estudiantes se le asigna un cúmulo en el cual debe realizar el análisis anterior). Generación de un diagrama de Hubble con los resultados de todos los estudiantes; discusión de resultados ( $\sim 30$  mins.).

## Referencias

1. Hubble, E. P., 1929, "*A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*", PNAS, 15, 168.
2. Hubble, E. P. & Humason, M.L., 1931, "*The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae*", ApJ, 74, 43.