

# Tarea1

Aros Bunster, Camila.  
Pontificia Universidad Catolica de Valparaíso  
(Dated: 29 de mayo de 2020)

Se presenta un estudio de la función angular de correlación de las Galaxias Luminosas Rojas (LRG) usando el catálogo espectroscópico de galaxias del Sloan Discovery Sky Survey (SDSS), se estudia además el mecanismo de formación de galaxias y ocupación de halo de galaxias CMASS de las Oscilaciones Acústicas Bariónicas. Se discute el posible efecto de las colisiones de fibras, y los errores sistemáticos en los datos obtenidos por el SDSS.

**Palabras clave:** : SDSS, LRGs, halos, función de correlación, espectro de potencia .

## I. INTRODUCCIÓN

Hace tiempo que se estudia el Universo para poder encontrar alguna respuesta a las tantas inquietudes que hay sobre este tema, algunas de las preguntas que nos hacemos es, *¿De qué está compuesto el Universo?*, *¿Existen más dimensiones?*, *¿Cuántas galaxias hay?* ó simplemente preguntarse, *¿Cuál es la historia del Universo?* *¿Cómo fue su comienzo?*.

En el año 1927 Lemaître propuso la teoría de que el universo se estaba expandiendo, así, años más tarde Hubble comprobó la expansión calculando la distancia a nebulosas que daban cuenta que se estaban alejando de la Tierra, por lo tanto, la mejor manera era analizar la relación que hay entre el redshift y la distancia.

Sin ir más lejos, precisamente el año 1998 Observando y analizando las SNe Ia se descubrió que el Universo se expande aceleradamente y en consecuencia trajo otra inquietud, y era saber *¿Qué es lo que causa esta aceleración?*

Está es una pregunta bastante complicada de responder, uno de los métodos que se usa para responder esta inquietud es medir la relación que hay entre la distancia y el redshift y para esto se estudia las Oscilaciones Acústicas Bariónicas (BAO) que surgen cuando el Universo era un plasma y este producía una presión de radiación sobre la materia bariónica y por lo tanto esta se expande hasta un cierto punto que es cuando la radiación se desacopla de la materia y estos fotones continúan avanzando, propagándose por todo el Universo. A través de esto, se ve una función de correlación, que consiste en tomar dos galaxias y calcular su distancia de separación y hacer una estadística y ver la frecuencia de repetición de distancia y así poder encontrar una distribución de perturbaciones correspondiente.

En este trabajo, usaremos una muestra espectroscópica de las Galaxias Rojas Luminosas (LRG) a partir de las imágenes entregadas del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Estas galaxias son bastante eficientes y también permiten estudiar cómo estas LRGs se alojan en halos masivos (más adelante se explica con mayor exactitud porque estudiamos las LRGs).

El trabajo está organizado de la siguiente manera. Presentamos un resumen sobre las características principales de SDSS y LRGs y los Datos en la sección I y II, y en

la siguiente sección los métodos de análisis para la medición. Posteriormente en las secciones IV y V presentamos una discusión y la conclusión.

### A. Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

El Sloan Digital Sky Survey es un proyecto de investigación que comenzó en el año 2000 y que ha podido crear mapas tridimensionales del Universo con imágenes muy profundas y un banda de colores amplia. Esta investigación permitió ver la estructura a gran escala del Universo, gracias a que ha cubierto más de 7000 *grados*<sup>2</sup>, es decir, más de un cuarto del cielo de la región galáctica Sur

Con mayor exactitud el SDSS mide magnitudes de 5 colores diferentes que son al tomarlo en 5 filtros distintos, vale decir, un filtro es un pantalla que bloquea toda la luz que sea distinta al color específico que se está estudiando. Estos filtros se dividen en dos 'especies'

1. colores a luz visibles: que corresponden a los filtros verdes(**g**) y rojos(**r**)
2. Colores a luz no visible: que corresponden a los filtros ultravioleta(**u**), infrarrojo(**z**) e infrarrojo cercano (**i**)

Los Datos de esta investigación se publican regularmente en internet en la página oficial de SDSS, y ahí mismo se encuentra el SkyServer que contiene el servidor SQL que es un rango de interfaces de las imágenes y espectros.

### B. ¿Por qué trabajamos con las Galaxias Rojas Luminosas?

Las galaxias rojas luminosas (LRG) son galaxias masivas de tipo temprano que consisten principalmente en estrellas viejas con poca formación de estrellas.

Las LRGs como se mencionó antes son muy eficientes, ya que este tipo de galaxias en cúmulos son bastante homogéneas, poseen una luminosidad intrínseca y además tiene una gama de colores limitada y es por este motivo que se pueden observar a  $z > 0,5$  (se puede obtener más detalle en *Postman & Lauer et al. (1995)*)

Tomando como referencia lo que describió Eisenstein et al.(2001), El SDSS apunta a altas masas estelares, utilizando un corte de magnitud y color de las LRGs. Estas Galaxias Luminosas Rojas(LRG) se utilizan para investigar diversos estudios como, la correlación cruzada y lentes débiles (*Hikage et al.(2013)*), la detección de Oscilaciones Acústica Bariónica y su estudio de agrupamiento (*Reid&Spergel et al.(2009)*), o también otro motivo que se estudia las LRG y se verá en este trabajo es por como trazan los sub-halos de materia oscura, la frecuencia con la que coinciden estos centros de halos (*Shogo Masaki et al.(2013)*)

## II. DATOS

Lo primero que se hizo fue descargar los datos en SDSS, ejecutando una búsqueda con SQL en CasJobs (sección Query). El criterio que se usó para seleccionar fue BOSS CMASS galaxy más detalle se encuentra en el repositorio como *código.búsqueda*, tener en cuenta que en 'Context' se selecciona 'DR16', ya que contiene los datos más recientes de SDSS (exactamente son observaciones hasta Agosto del 2018). La muestra de BOSS apunta a galaxias de  $0,4 < z < 0,7$  usando corte de magnitud de los respectivos colores. La muestra de CMASS es un catálogo de galaxias que tienen un seguimiento espectroscópico de la muestra de BOSS y que tiene como objetivo seleccionar un algoritmo similares utilizados en LRGs, éste introduce un corte en color versus magnitud, para así seleccionar galaxias más masivas en función del redshift de modo más homogénea.

Podemos ver en la Tabla1 un extracto de los datos descargados, donde:

- **ra,dec** es un sistema de coordenadas que utiliza SDSS, en la que la ascensión recta astronómica estándar corresponde a **ra** y la declinación corresponde a **dec**
- **objid** Cataloga los objetos fotométricos detectados dentro de un dominio de imágenes
- **umag, gmag, rmag, imag, zmag** corresponde a la magnitud de modelos
- **z** Es el redshift que tiene el mejor ajuste e ignora los posibles redshift de mejor ajuste que corresponden a los QSO

Para las fotometría de galaxias medir el flujo se hace complicado ya que no todas las galaxias tienen perfil de brillo idéntico de la superficie radial. Para evitar estos sesgos el SDSS ha adoptado una forma de enmendar esto, usando el Sistema Petrosian donde *mide los flujos de galaxias dentro de una abertura circular cuyo radio está definido por la forma del perfil de luz promediado azimuthalmente (más detalle en Algoritmos y Strauss et al.(2002))* y es lo que podemos ver en la Tabla2, que es un extracto de datos.

upetro	gpetro	rpetro	ipetro
21.11024	22.261	20.464	19.597
24.5783	25.081	21.912	20.694
25.367	21.949	20.254	19.548
25.462	22.218	20.775	19.665
21.6456	23.294	20.823	19.895

Cuadro II. Extracto LRGs

## III. ANÁLISIS

### A. Medición

Calcularemos la función de correlación de desplazamiento hacia al rojo  $w(r)$  usando el estimador de Landy-Szalay(Landy and Szalay, 1993).

$$w(r) = \frac{DD(r) - 2DR(r) + RR(r)}{RR(r)} \quad (1)$$

Donde 'DD' son los números de pares medidos a partir de los datos del catálogo obtenidos del SDSS, 'RR' es el número de pares a partir de un catálogo aleatorio y 'DR' es el número de pares de datos combinando el catálogo real con el aleatorio.

Pero antes de calcular la función de correlación, hay que obtener la distancia transversal comóvil al redshift correspondiente de cada galaxia.

$$D_M = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{H(z')} \quad (2)$$

Donde  $H(z')$  corresponde

$$H(z) = \sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_r(1+z)^4 + \Omega_k(1+z)^2 + \Omega_\Lambda} \quad (3)$$

Seguimos un modelo  $\Lambda$ CDM plano con  $\Omega_k = 0$ ,  $\Omega_r \approx 0$ ,  $\Omega_m = 0,3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0,7$ ,  $\Omega_b h^2 = 0,022$ ,  $h = 0,676$  y  $\sigma_8 = 0,824$ . Entonces, la Ec.(2) nos queda de la siguiente manera:

$$D_M = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_m(1+z')^3 + \Omega_\Lambda}} \quad (4)$$

Una vez calculado  $D_M$ , podemos obtener la función de correlación.

### B. Interpretación

#### 1. Espectro de Potencia Primordial

Según el modelo de Press and Schechter(1974) supone que toda la masa del Universo se encuentra acumulada en los halos. Este modelo posee dos hipótesis:

1. **A escalas pequeñas** la función de correlación predomina la distribución de materia, dentro de los halos.

objid	ra	dec	umag	gmag	rmag	imag	zmag	z
1.237e+18	41.0196	1.2713	22.4945	21.889	20.3207	19.5160	19.1636	0.5049
1.237e+18	86.42	-0.0661	19.8217	17.4067	16.7105	16.2259	15.9125	0.9689
1.237e+18	87.4336	-0.1863	20.8276	19.9240	15.5694	18.0822	17.6572	0.2785
1.237e+18	87.5354	-0.0107	19.9593	17.8634	16.7105	16.0582	15.510	0.1095
1.237e+18	87.5010	-0.1972	20.3805	18.5728	17.6743	17.0882	16.4116	0.1195

Cuadro I. Extracto de LRGs

2. **A escalas grandes** el espectro de potencia primordial evoluciona mediante la teoría lineal, por consiguiente la correlación esta descrita por los factores de sesgos de los halos.

Así también, el modelo de halo contiene:

- Perfil de densidad.
- Función de masa de halos de materia oscura
- Espectro de potencia lineal

¡A tener en cuenta! Como hipótesis la masa se encuentra en los halos.

$$\zeta_{hh}(\vec{x}_2 - \vec{x}_1 | m_1, m_2) \approx b(m_1)b(m_2)\zeta(\vec{x}_2 - \vec{x}_1) \quad (5)$$

Donde  $\zeta_{hh}$  representa la correlación entre halos de las masas  $m_1$  y  $m_2$  y  $b(m_1), b(m_2)$  son el sesgo de los halos. Aunque, es más sencillo trabajar con modelos de halos en espacio de Fourier.

$$P(\vec{k}) = P_{1h}(\vec{k}) + P_{2h}(\vec{k}) \quad (6)$$

$$P_{1h}(\vec{k}) = \int \left(\frac{m}{\bar{\rho}}\right)^2 |u(\vec{k}|m)|^2 n(m) dm \quad (7)$$

$$P_{2h}(\vec{k}) = \int \left(\frac{m_1}{\bar{\rho}}\right)^2 |u(\vec{k}|m_1)|^2 n(m_1) dm_1 \times \int \left(\frac{m_2}{\bar{\rho}}\right)^2 |u(\vec{k}|m_2)|^2 n(m_2) P_{hh}(\vec{k}, m_1, m_2) dm_2$$

Donde  $P_{hh}$  es el espectro de potencia de los halos,  $\bar{\rho}$  es la densidad media del Universo en el tiempo  $t$ . Por consiguiente, planteamos

$$P_{hh}(\vec{k}, m_1, m_2) \simeq b(m_1)b(m_2)P(\vec{k}) \quad (8)$$

## 2. Halos Galácticos

La materia oscura se reduce a un fluido hecho de partículas frías, que se forman por la dispersión de velocidades despreciables y evitan las interacciones no gravitacionales, y eso permite que las partículas de materia

oscura fría se estructuran gravitacionalmente a escalas subgalácticas.

La formación de halos estelares se producen por ésta materia oscura fría (Cold Dark Matter, CDM), la evolución de los halos se producen desde abajo hacia arriba. Según las observaciones la formación de halos galácticas puede ser por el aumento de gravedad y/o por la presencia de agujeros negros primordiales.

En 1978 White & Rees decretaron que  $m_b$  se puede enfriar y formar estrellas, solo si, se encuentran en el pozo potencial de materia oscura. Esto implica que halos con masa baja, contiene menos galaxias. La distribución de galaxias tiene las siguientes propiedades:

- Velocidad en que el gas se enfría.
- Efecto de evolución estelar.
- Tasa de formación de estrellas.

Por ende, usamos la Distribución de Ocupación de Halos (DOH) para poder obtener la distribución de probabilidad  $P(N_g|m)$ , que significa 'La probabilidad de que un halo de masa  $m$  contenga  $N_g$  galaxias'. Por lo tanto, el espectro de potencia esta dado por,

$$P_g(\vec{k}) = P_{g,1h}(\vec{k}) + P_{g,2h}(\vec{k}) \quad (9)$$

Donde el término  $P_{g,1h}(\vec{k})$  tiene la siguiente forma,

$$P_{g,1h}(\vec{k}) = \int n(m) \frac{\langle N_g(N_g - 1) | m \rangle}{\bar{n}_g} |u_g(\vec{k}, m)|^p dm \quad (10)$$

Donde  $p$  toma 2 valores posibles: Si  $\langle N_g(N_g - 1) \rangle > 1$   $p$  toma el valor de 2 y en este caso sería una correlación de galaxias satélite. Ahora bien, si  $\langle N_g(N_g - 1) \rangle < 1$ ,  $p$  toma el valor de 1, y en este caso sería una correlación de galaxia central y satélite.

Para el término  $P_{g,2h}(\vec{k})$  se escribe de la siguiente manera,

$$P_{g,2h}(\vec{k}) = P(\vec{k}) \left[ \int n(m) b_1(m) \frac{\langle N_g | m \rangle}{\bar{n}_g} u_g(\vec{k}|m) dm \right]^2 \quad (11)$$

En la cual,  $u_g(\vec{k}|m)$  es la T.Fourier, y significa densidad de las galaxias dentro de un halo de masa  $m$ ,  $\bar{n}_g$  es la densidad media y  $\langle N_g | m \rangle$  la distribución de ocupación.

Para medir la posición promedio de BAO usando la función de correlación,  $w(r)$ , y en el espacio de Fourier usando el espectro de potencia  $P(k)$ . La posición BAO se presenta como un único peak en  $w(r)$  y una oscilación en  $P(k)$ .

## IV. DISCUSIÓN

### A. Limitaciones de las mediciones

1. *¿Qué son las colisiones de fibras en SDSS? y ¿Qué efecto tienen?*

Las colisiones de fibras es una característica del espectrógrafo que consiste en que es una carcasa de un tamaño fijo que hace que sea complicado, por no decir imposible, colocar más fibras dentro de 62 segundos de arco entre la misma placa, es decir, se producen cuando dos galaxias están muy juntas que no puede perforar y tapar los agujeros de la placa. Esto provoca que varias galaxias no tengan asignada una fibra, y eso causa de que no se pueda medir su redshift.

La asignación de colisiones de fibra tiene un fuerte impacto en la fracción de satélites, es decir reduce los pares central-satélite.

## V. CONCLUSIONES

Se busco calcular la función angular de correlación de los datos obtenidos por el SDSS con el fin, de conseguir los espectros de potencias de los halos galácticos. Sin embargo, no se logro el objetivo de este trabajo de manera experimental.

## VI. REFERENCIAS

- 
- [1] DANIEL J.EISENSTEIN, *Spectroscopic target selection for the Sloan Digital Sky Survey: The Luminous Red Galaxy sample*, 2001.
  - [2] LAUREN ANDERSON, *The clustering of galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic survey: BAO in the DATA Release 10 and 11 galaxy sample*, 2014
  - [3] DANIEL J.EISENSTEIN, *Detection of the BAO peak in the Large-Scale correlation function of SDSS Luminous Red Galaxies*, 2005.
  - [4] SHOGO MASAKI, *Understanding the nature of Luminous Red Galaxies(LRGs):Connecting LRGs to central and satellite subhalos*, 2013.
  - [5] TOM BARBER, *The Galaxy-Mass correlation function measured from weak lensing in the Sloan Digital Sky Survey*, 2003.
  - [6] ISKRA STRATEVA, *Color separation of galaxy types in the Sloan Digital Sky Survey imaging DATA*, 2001.