

Función de correlación de Galaxias Luminosas Rojas en SDSS

Constanza Osses Guerra*

Profesor: Cristóbal Sifón and

Doctorado en Ciencias Físicas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

La función de correlación describe de qué manera están distribuidas las galaxias en el Universo. Es por esto, que en este trabajo se pretende obtener la función de correlación de galaxias luminosas rojas seleccionadas del SDSS para redshifts de hasta $z \sim 2$ usando el estimador Landy-Szalay. Además se pretende obtener la función de correlación como una suma de dos funciones: función de un halo (1h) y función de dos halos (2h).

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de estructuras a gran escala del Universo es una herramienta muy importante en la cosmología y, en especial el Sloan Digital Sky Survey [1] ha sido de gran importancia para comprender este aspecto. Gracias al catálogo proporcionado por el SDSS que obtiene espectros de muchos objetos simultáneamente gracias a que los espectrógrafos están conectados por fibra óptica a un plato de aluminio en el plano focal del telescopio. Además utiliza 5 filtros fotométricos para obtener datos y que pretende mapear un cuarto del cielo, es posible estudiar millones de LRG y miles de quásares. Las Galaxias Luminosas Rojas (LRG) son galaxias masivas de tipo temprano compuestas en su mayoría por estrellas viejas, y son consideradas como las muestras de galaxias mayor estudiadas y entendidas. Este tipo de galaxias posee diversas características, tales como que su espectro es uniforme, prácticamente no poseen líneas de emisión, sus líneas de absorción profundas, son las galaxias que están más agrupadas y por supuesto, son muy luminosas. Los datos de estas galaxias a partir del SDSS han sido usados para múltiples propósitos, como el estudio de lentes débiles [2], detección de oscilaciones bariónicas [3], [4] y estudio de la distorsión en el espacio de redshift [5], [6], [7].

Debido a la gran luminosidad de las galaxias rojas, son conocidas por entregar información sobre cómo están distribuidas las galaxias a través de la función de correlación.

1.1. Modelo del Halo

Para predecir e interpretar la estadística de materia oscura se emplea el formalismo del modelo del halo. Este formalismo es importante debido a que se obtienen cálculos analíticos de la aglomeración de materia oscura que también se puede extender a poblaciones de galaxias.

El modelo del halo se basa en diversas suposiciones. Se asume que toda la materia oscura está concentrada en halos del mismo tamaño así entonces se puede conocer la

distribución de materia oscura en función de la función de masa de los halos (Seth Tormen 1999). También se asume que la aglomeración del halo es independiente de las propiedades mismas del halo, a excepción de la masa.

Una de las aplicaciones del modelo del halo es obtener la función de correlación de dos puntos

1.2. Función de Correlación

La función de correlación está dada por

$$\xi(r) = \xi_{1h}(r) + \xi_{2h}(r) \quad (1.1)$$

donde el término $\xi_{1h}(r)$ se debe a la contribución de los elementos dentro del mismo halo y el término $\xi_{2h}(r)$ es la contribución de elementos de halos diferentes. Podemos escribir la contribución del segundo término como

$$\xi_{gg,2h} = b_{gal}^2 \xi_{mm}(r) \quad (1.2)$$

Y sabemos además que la función de correlación se puede escribir en términos de una ley de potencia

$$\xi(r) = \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\gamma} \quad (1.3)$$

2. DATOS

2.1. Código de búsqueda

Los datos de las galaxias fueron obtenidos del catálogo más reciente del SDSS (DR16). Este catálogo es la última actualización de la cuarta fase del SDSS y contiene observaciones hasta Agosto de 2018. En él se incluyen los datos finales del espectro óptico para oscilaciones de bariones, espectro infrarrojo, observaciones espectroscópicas de la unidad decampo integral para galaxias cercanas y espectros estelares.

Los datos fueron obtenidos de CasJobs, usando el siguiente código

```
SELECT
p.objid, p.ra, p.dec,
```

*Electronic address: conyosses@gmail.com

```

p.dered_u as umag, p.dered_g as gmag,
p.dered_r as rmag, p.dered_i as imag,
p.dered_z as zmag,
s.z_noqso as z
FROM PhotoObj AS p
JOIN SpecObj AS s ON s.bestobjid = p.objid
WHERE
s.z_noqso > 0
AND s.zWarning_noqso = 0
AND s.class = 'GALAXY'

```

donde **ra** y **dec** son la ascensión recta y la declinación respectivamente; **umag**, **gmag**, **rmag**, **imag** y **zmag** son las magnitudes de la función de dispersión de puntos en los filtros **u** en ultravioleta, **g** y **r** en visible, **i** y **z** en infrarrojo; **z.noqso** es el redshift pero que asegura que no existan mediciones del redshift de quásares en los datos y además se impone la condición de que sea positivo; **zWarning_noqso** está relacionado con la tasa de éxito del redshift (confidence flags) y al ser cero indica que existe una clasificación espectroscópica y una medición del redshift confidente para quásares; y finalmente **class='GALAXY'** nos asegura que la muestra esté compuesta solamente de galaxias.

2.2. Datos

La muestra descargada del catálogo DR16, contine aproximadamente 700.000 galaxias con un redshift de hasta $z \sim 2$. Esta muestra, se descompuso en 10 bins respecto al redshift tal como se muestra en la Tabla I. Usando la (2.1) se calculó la distancia entre las galaxias usando las coordenadas (Ra,Dec), generando un histograma y calculando así el número de pares del catálogo real $DD(r)$. Posteriormente, se mezcló de forma aleatoria la columna de la declinación para obtener las distancias y número de pares entre el catálogo real y aleatorio $DR(r)$ y finalmente se mezcló también la columna de ascensión recta para generar un catálogo completamente aleatorio y obtener el número de pares de dicho catálogo $RR(r)$.

$$d = \arccos(\sin(\delta_1) \sin(\delta_2) + \cos(\delta_1) \cos(\delta_2) \cos(\alpha_1 - \alpha_2)) \quad (2.1)$$

Esta distancia debe ser dividida por $H_0(1+z)$ para que resulte en una distancia comóvil.

Una vez obtenidas las distancias, procedemos a calcular la función de correlación usando el estimador de Landy-Szalay [8] para cada uno de los 10 bins.

$$w(r) = \frac{DD(r) - 2DR(r) + RR(r)}{RR(r)} \quad (2.2)$$

Se prefiere este estimador por sobre otros debido a que necesita menos datos aleatorios y tiene mayor precisión.

bin	Rango de z
1	$0 < z < 0.2$
2	$0.2 < z < 0.4$
3	$0.4 < z < 0.6$
4	$0.6 < z < 0.8$
5	$0.8 < z < 1.0$
6	$1.0 < z < 1.2$
7	$1.2 < z < 1.4$
8	$1.4 < z < 1.6$
9	$1.6 < z < 1.8$
10	$1.8 < z < 2.1$

Tabla I: Rangos del redshift correspondientes a cada bin.

3. RESULTADOS

A continuación se muestra el histograma para los 100 primeros datos del rango de redshift $0 < z < 0.2$, usando el código fuente de *Mathematica*.

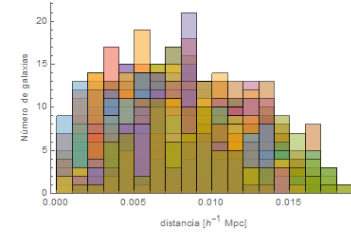


Figura 1. *Catálogo real.*

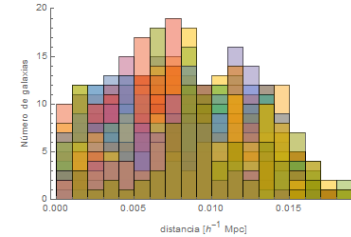


Figura 2. *Catálogo real-aleatorio.*

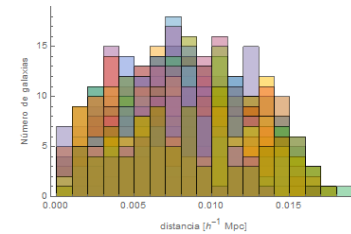


Figura3. *Catálogo aleatorio.*

Usando la (2.2) se obtiene el siguiente gráfico

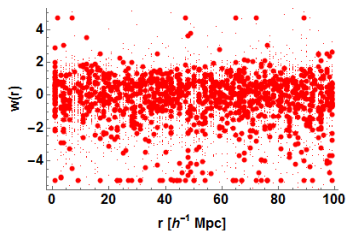


Figura 4. *Función de correlación en función de la distancia.*

4. DISCUSIÓN

4.1. Limitaciones en las mediciones

Si bien el catálogo tiene una cantidad de datos bastante alta, el análisis de los datos no se pudo llevar a cabo de una manera óptima. Por otro lado, si bien el SDSS utiliza fibras ópticas que son de gran ayuda al momento de obtener mediciones simultáneas, también conlleva un problema: las colisiones de fibra [9]. Las fibras no se pueden poner demasiado juntas (debido al tamaño de los tapones) por lo que a una cantidad significativa de galaxias no se le puede asignar una fibra y obtener así mediciones del redshift. Este problema se puede corregir en parte superponiendo los platos, sin embargo, queda una región desprovista de mediciones.

4.2. Limitaciones en el análisis

Una de las limitaciones del análisis fue la extensión del catálogo aleatorio, puesto que tenía la misma canti-

dad de datos que el catálogo real. Teniendo esto en consideración, el gráfico de la función de correlación tuvo muchas incertezas estadísticas. Usar una matriz de covarianza permite evaluar la detectabilidad de los lentes, efectos relativistas y el contenido de información. Usar una matriz de este tipo es importante debido a que los pares vecinos están fuertemente correlacionados y por lo tanto, permite obtener correlación entre cada bin [10].

Otro aspecto a considerar, son las limitaciones del modelo de halo que difieren bastante de las mediciones obtenidas a partir de lentes gravitacionales.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se intentó obtener la función de correlación y hacer un análisis para obtenerla en función de dos leyes de potencias. Se seleccionaron 10 bins respecto al redshift y se midieron parte del primer bin y el último. Con esto se obtuvo un histograma para ambas secciones de los datos, con sus respectivos números de pares del catálogo real, catálogo aleatorio y una combinación de ambos. Posteriormente se usó un estimador para calcular la función de correlación.

Al usar pocos datos y que el catálogo aleatorio tenga la misma cantidad de datos que el real por lo que la incerteza es bastante grande. Además, no se logró obtener el valor para la potencia de la función de correlación. Queda como ejercicio futuro lograr obtenerla.

-
- [1] D. G. York, J. Adelman, J. E. Anderson, Jr., S. F. Anderson, J. Annis, N. A. Bahcall, J. A. Bakken, R. Barkhouser, S. Bastian, E. Berman, et al., *The Astronomical Journal* **120**, 15791587 (2000), ISSN 0004-6256, URL <http://dx.doi.org/10.1086/301513>.
 - [2] R. Mandelbaum, C. M. Hirata, M. Ishak, U. Seljak, and J. Brinkmann, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **367**, 611 (2006), ISSN 0035-8711, <https://academic.oup.com/mnras/article-pdf/367/2/611/3301528/367-2-611.pdf>, URL <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09946.x>.
 - [3] D. J. Eisenstein, I. Zehavi, D. W. Hogg, R. Scoccimarro, M. R. Blanton, R. C. Nichol, R. Scranton, H. Seo, M. Tegmark, Z. Zheng, et al., *The Astrophysical Journal* **633**, 560574 (2005), ISSN 1538-4357, URL <http://dx.doi.org/10.1086/466512>.
 - [4] E. A. Kazin, M. R. Blanton, R. Scoccimarro, C. K. McBride, A. A. Berlind, N. A. Bahcall, J. Brinkmann, P. Czarapata, J. A. Frieman, S. M. Kent, et al., *The Astrophysical Journal* **710**, 14441461 (2010), ISSN 1538-4357, URL <http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/710/2/1444>.
 - [5] A. Cabre and E. Gaztanaga, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **393**, 1183 (2009), 0807.2460.
 - [6] B. A. Reid, D. N. Spergel, and P. Bode, *The Astrophysical Journal* (????), URL <https://doi.org/10.1088/2F0004-637X/2F702/2F1/2F249>.
 - [7] L. Samushia, W. J. Percival, and A. Racca-nelli, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **420**, 2102 (2012), ISSN 0035-8711, <https://academic.oup.com/mnras/article-pdf/420/3/2102/3011995/mnras0420-2102.pdf>, URL <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.20169.x>.
 - [8] S. D. Landy and A. S. Szalay, *Astrophys. J.* **412**, 64 (1993).
 - [9] M. A. Strauss, D. H. Weinberg, R. H. Lupton, V. K. Narayanan, J. Annis, M. Bernardi, M. Blanton, S. Burles, A. J. Connolly, J. Dalcanton, et al., *The Astronomical Journal* **124**, 1810 (2002), URL <https://doi.org/10.1086/2F342343>.
 - [10] U. Sawangwit, T. Shanks, F. B. Abdalla, R. D. Cannon, S. M. Croom, A. C. Edge, N. P. Ross, and D. A. Wake, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **416**,

30333056 (2011), ISSN 0035-8711, URL <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19251.x>.