

Segregacion Morfologica en Cumulos Ricos

Abstract

Los cúmulos de galaxias son las estructuras más densamente pobladas del universo. La segregación morfológica en los cúmulos puede estar basada en las propiedades globales o locales de los cúmulos. En el presente trabajo se estudia la segregación morfológica propuesta por Dressler y conocida como relación Morfología-Densidad local proyectada y es una propiedad local. Esta relación muestra que la densidad local separa los componentes morfológicos en un cúmulo básicamente en tres grupos de galaxias: Elípticas, Espirales e Irregulares y galaxias Lenticulares. Se observa una correlación entre las fracciones de galaxia de cada tipo a distintas densidades, lo cual sugiere algún proceso evolutivo o de transformación de las galaxias Espirales e Irregulares en galaxias Elípticas o Lenticulares.

1 Introduccion

1.1 Cumulos

Se denomina como cúmulo (Cluster en inglés) de galaxias a un conjunto de poblaciones de galaxias que conjuntas conforman una región cientos de veces más densa que la media. Los cúmulos típicamente contienen cientos de galaxias muy brillantes dentro de un volumen de algunos megaparsecs. Son las estructuras viralizadas más grandes del universo contando con masas de $10^{14} - 10^{15} M_{\odot}$ [7].

Un agrupamiento mucho menos masivo de galaxias se denomina grupo. Típicamente contienen 50 miembros o menos [11].

Debido a que los grupos y cúmulos poseen grandes densidades superficiales y que tienen un gran numero de galaxias muy brillantes, estos pueden identificarse a grandes distancias.

Para poder seleccionar cúmulos de galaxias de la distribución disponible de las mismas se debe adoptar algún criterio de selección. Uno de los primeros catálogos de cúmulos que involucran algún tipo de esquema de selección es el dado por Abell [2].

Abell [1] selecciono 1682 clusters, de un total de 2712, del Palomar Sky Survey. Abell utilizo los siguientes criterios de seleccion [7], [1]:

- Criterio de Riqueza: Cada cluster debe tener almenos 50 miembros con una magnitud aparente tal que $m < m_3 + 2$ donde m_3 es la magnitud aparente del tercer miembro mas brillante.
- Criterio de compacidad: Se seleccionan como miembros a cada cumulo, a galaxias que se encuentren a una distancia menor a: $1.5h^{-1}\text{Mpc}$. Esta distancia se denomina radio de Abell.

Abell dio además una clasificación de los cúmulos en base a que tan esféricamente simétricos eran estos. Los más parecidos a una distribución circular se denominaron regulares mientras que aquellos que diferían de esta distribución eran denominados irregulares [2], [1].

1.2 Contenido de los Cumulos

Los cumulos tienen un gran contenido de galaxias de tipo temprano [7]. La fracción de E y S0 es del 80% en los cúmulos regulares y de un 50% en los cúmulos irregulares, en comparación de una muestra de campo que contiene aproximadamente un 30%. Es por ello que se ha sugerido que las galaxias sufren una transformación morfológica en los cúmulos, siendo de variada naturaleza la razón de esta transformación (Ver seccion 1.6).

1.2.1 Las galaxias cD

En los cluster podemos encontrar las denominadas galaxias BCG (Brightest Cluster Galaxy). Dentro de esta categoría se denominan galaxias *cD*, las cuales son las galaxias, con un envoltorio difuso, mas masivas posibles, con masas que exceden las $10^{12}M_{\odot}$ y una extensión de hasta 1 Mpc[7][11]. El 30% de la luz que proviene de un cúmulo rico corresponde a este tipo de galaxias. La galaxias cD suelen dominar la region central de los cumulos[8]. Hay debate acerca de si el envoltorio difuso pertenece en si a la galaxia o a su entorno (El cúmulo en el que reside). Se considera que el crecimiento y evolución de estas galaxias se debe a procesos de canibalismo de las galaxias de su entorno (Ver sección 1.6.2).

1.3 Relacion Morfología - Densidad

Uno de los primeros en dar cuenta de una relación entre la morfología y la densidad fue Hubble, indicando la existencia de una correlación entre la morfología y la densidad e indicando que en el campo había una preponderancia de galaxias tipo tardío[6]. Posteriores trabajos aportaron evidencia acerca de la morfologia, como la existencia de galaxias super gigantes[8] denominadas cD (Ver sección 1.2.1), la preponderancia de las galaxias elípticas como principal componente de los cúmulos[10] y el aumento de galaxias Espirales e Irregulares conforme aumenta la distancia radial al centro del cúmulo [5].

En 1974 Oelmer[9] realizo una segregación morfológica en cúmulos y encuentra que esta depende del contenido del mismo, entendiendo a la relación morfología densidad como una relación entre su contenido morfológico y la compacidad del clúster[2]. Oelmer construyo los perfiles de número de galaxias de cada tipo, notando un decaimiento de la densidad de galaxias espirales hacia el centro del clúster, sin embargo no pudo establecer en una diferencia en la distribución de galaxias elípticas y S0.

Posteriormente Dressler[4] elabora un catalogo de 55 cúmulos ricos, apuntando a que tanto los clusters regulares como irregulares muestran la misma relación morfología-densidad. Además de este resultado, apunta a que no es la distancia radial la que determina la morfología, sino la densidad local.

1.4 Relacion Morfología - Radio

En [12], se reexamina la muestra de Dressler y se establece que la relacion global Morfologia-Radio es mas fundamental que la relacion morfologia - densidad local.

Para llegar a esta conclusion, en [12] se considero el radio, cumulo-centrico, como variable independiente. Esta relacion se establece estudiando el radio normalizado a un radio del cumulo caracteristico R_c , de manera que el parametro R/R_c no varia en funcion de la densidad dentro de un rango de 0.5 Mpc. Para todos los tipos de cumulos se encuentra que la fraccion de elipticas es constante en las regiones fuera del cluster ($R/R_c > 1$) mientras que en la periferia la fraccion de galaxias elipticas aumenta en 16% ($R/R_c = 1$). Para $R/R_c < 1$ (por lo general 0.5 Mpc) la fraccion de elipticas incrementa rapidamente alcanzando el 60-70 % en las regiones centrales.

1.5 Morfología-Radio vs Morfología-Densidad

La densidad local proyectada correlaciona bien con la posición cúmulo-centrica, lo cual hace que sea difícil determinar cual de estos parámetros es el más fundamental[12]. En [12] se realizan varios test, uno de los cuales por ejemplo consiste en aislar regiones con misma densidad local, pero distintas posiciones cúmulo-centricas (a distintos radios).

Se examinan regiones que tienen densidades locales idénticas pero que están ubicadas a diferentes distancias radiales (posiciones con respecto al centro del cúmulo). En particular, se compara las composiciones morfológicas en la región más externa del cúmulo y la región más interna que comparten una densidad local similar.

La lógica detrás de este enfoque es aislar el impacto de la densidad local manteniéndola constante mientras varía la posición con respecto al centro del cúmulo. Según la *relación morfología-densidad*, si la densidad local es el factor principal que influye en la morfología de las galaxias, entonces estas regiones (a pesar de sus diferentes posiciones radiales) deberían mostrar distribuciones morfológicas similares de galaxias elípticas, S0 y espirales. Sin embargo, si se observan diferencias significativas en las fracciones morfológicas entre las regiones internas y externas con la misma densidad local, esto sugeriría que la distancia al centro del cúmulo (o el ambiente general del cúmulo) también juega un papel fundamental en la configuración de la morfología de las galaxias.

En [3] se estudia la dependencia de la morfología tanto utilizando la densidad local proyectada y otros parametros globales como ser la densidad de masa total y la densidad de gas. Como resultados, se obtuvieron que distintos mecanismos determinan la segregación morfológica basados en dependencia del entorno de las galaxias. Mecanismos de naturaleza global dominan en entornos de gran densidad mientras que mecanismos locales son mas relevantes en las periferias, entornos de menor densidad.

1.6 Mecanismos de alteracion morfológica de galaxias en cúmulos

Las galaxias en cumulos pueden ser alteradas por su entorno principalmente de tres formas distintas[7]:

- i. Interacciones Tidales entre otros miembros del cumulo y con el potencial del cluster.
- ii. Friccion dinamica, lo cual provoca una lenta progresion de una galaxia hacia su centro.
- iii. Interacciones con la radiacion del medio intra cumulo.

1.6.1 Galaxy Harrasment

Las galaxias que se encuentran dentro de clúster están sujetas a grandes velocidades, por lo cual los encuentros entre galaxias dentro del mismo se realizan a muy alta velocidad. Una galaxia que colisiona sufrirá un aumento de energía. Sucesivos eventos de interacción de la galaxia con otras galaxias del cúmulo se denomina comúnmente como *Galaxy Harrasment*.

Son de particular interés los efectos sobre galaxias con disco. Simulaciones de estos procesos de interacción muestran que el disco de una galaxia espiral puede ser totalmente destruido[7]. Por otro lado, cualquier remanente que pueda quedar de este disco sería calentado, dándole una morfología a la galaxia semejante al de una elíptica enana.

Se ha demostrado, sin embargo, nuevamente en simulaciones que el efecto de galaxy harrasment tiene un menor efecto en galaxias espirales de menor tamaño como las Sa, Sb, aunque si este efecto es combinado con el efecto de Ram Pressure es posible que estos tipos morfológicos puedan transicionar a galaxias tipo S0[7].

1.6.2 Canibalismo Galactico

La fricción dinámica de las galaxias en el cúmulo puede causar perdida de momento y provocar que la galaxia afectada caiga hacia el pozo de potencial donde finalmente puede llegarse a fusionarse con la galaxia central, la cual es una galaxia cD (Ver sección 1.2.1). El acretamiento de galaxias satélites por parte de esta galaxia central se denomina Canibalismo Galactico. Este fenómeno tiene el efecto de hacer crecer la galaxia central del cúmulo.

1.6.3 Ram Pressure

El fenómeno denominado Ram Pressure, hace referencia a la presión de arrastre que se produce en un medio fluido, en este caso el gas intracúmulo, debido al paso de alguna masa, en este caso una galaxia. Este efecto en principio podría hacer que el gas de la galaxia en cuestión sea arrancado provocando el apagado de la formación estelar en la galaxia (*quenching*). Una galaxia espiral siendo afectada por este fenómeno podría llegar a terminar transformándose en una S0, aunque, sin embargo, hay dudas de que el fenómeno de quenching siempre producido.

1.6.4 Estrangulamiento

A diferencia de la pérdida total de gas que puede producir el Ram Pressure, si en lugar de ello la galaxia espiral pierde solo el gas de la parte más lejana de su disco, la formación estelar de la galaxia podría continuar por un tiempo.

Se considera que las galaxias, además de materia oscura están rodeadas de un gas caliente/tibio. Parte de este gas cae a hacia la galaxia, enfriándose y proporcionando un remplazo de material para continuar con la formación estelar. Este gas está débilmente ligado, el mismo es fácilmente arrancado por fenómenos como el ram pressure cuando dicha galaxia se encuentra en un entorno como un cúmulo. Este fenómeno se denomina estrangulamiento, y resulta en un declinamiento gradual de la capacidad de las galaxias de formar estrellas.

El fenómeno de estrangulamiento es uno de los principales mecanismos de dependencia con el entorno relacionado al SFR(Star Formation Rate).

2 Procedimiento

En línea con los pasos seguidos por Dressler, se considera la muestra de 56 cúmulos ricos. Esta muestra está dividida en dos sets de datos: galaxias y centros.

Para calcular la distribución de densidad se consideran las distancias al décimo vecino para todas las galaxias en cada cúmulo y para todos los cúmulos. Para describir la distribución de densidad se utiliza la relación:

$$\Sigma_{jN,c_i} = \frac{N}{\pi d_{jN,c_i}^2} \quad (1)$$

Donde d_{jN,c_i} es la distancia angular al N – esimo vecino dentro del cúmulo c_i para una galaxia j dentro del cúmulo c_i . Es decir, si cada cúmulo c_i , posee m miembros entonces deben computarse:

1. Para cada galaxia g_j en c_i deben calcularse las distancias d_{j1}, \dots, d_{jm} , $j \neq m$, a sus vecinos en el cúmulo.
2. Del conjunto de distancias para la galaxia g_j se debe seleccionar la distancia d_{jN} , que representa la distancia al N -esimo vecino mas cercano para esa galaxia.
3. Debe repetirse el procedimiento hasta tener la N -esima distancia al vecino mas cercano para cada una de las galaxias en el cúmulo c_i : $\{d_{jN}, 1 \leq j \leq m\}_{c_i}$
4. Lo anterior debe realizarse además para cada uno de los cúmulos c_i . $1 \leq i \leq 56$.

Siguiendo el trabajo de Dressler se toma $N = 10$.

De esta manera si un cumulo c_i posee m galaxias, entonces el mismo aporta con m valores (omitiendo el subindice 10): $[\Sigma_{1,c_i}, \Sigma_{2,c_i}, \dots, \Sigma_{m,c_i}] \equiv \{\Sigma_{c_i}\}$ a la distribucion de densidades total.

La distribucion de densidades total esta dada entonces por: $\{\Sigma_{c_1}\} + \dots + \{\Sigma_{c_{56}}\}$

2.1 Pre-procesamiento

El dataset de miembros contiene información acerca de la ubicación del centro del cluster, tiene información acerca del redshift, la ascensión recta, declinación y el número de miembros asociado a ese cluster.

Por otro lado el dataset de galaxias posee información acerca de la ascensión recta, declinación y tipo morfológica de la galaxia. Existe un índice que vincula a cada galaxia con cada cúmulo.

Debido a que se cuenta con los valores de ascensión recta y declinación de cada galaxia, la distancia de la galaxia j otra galaxia k estará dada por la distancia angular:

$$d_{jk} = d_{\theta_{jk}} = \frac{cz}{H_0} \frac{\sqrt{1 - \cos^2(\theta_{jk})}}{\cos(\theta_{jk})} \quad (2)$$

Donde:

- c : Velocidad de la luz, $3 \times 10^5 [\text{km}] / [\text{s}]$
- z : Redshift del centro del cumulo
- H_0 : Constante de Hubble $70 [\text{km} / \text{s} / \text{Mpc}]$
- $\theta_{jk} = \cos(90 - \delta_j) \cos(90 - \delta_k) + \sin(90 - \delta_j) \sin(90 - \delta_k) \cos(\alpha_j - \alpha_k)$
 - δ_j : Declinacion galaxia j
 - α_j : Ascencion Recta, galaxia j

2.2 Segregacion Morfológica

Para estudiar la segregación morfológica en cúmulos ricos, se considera un estudio de la densidad local normalizada segregando según el tipo de galaxia en cada uno de los bins de la distribución. Para ello, se considera la distribución normalizada de las galaxias con separación morfológica en cada rango determinado, de manera que en cada bin:

$$\frac{1}{N_i} (\Sigma_i^{S+\text{Irr}} + \Sigma_i^{S0} + \Sigma_i^E) = 1 \quad (3)$$

Donde:

- $\Sigma_i^{S+\text{Irr}}$: Fraccion de galaxias espirales e irregulares en el bin i
- Σ_i^{S0} : Fraccion de galaxias lenticulares en el bin i
- Σ_i^E : Fraccion de galaxias elipticas en el bin i
- N_i : Numero total de galaxias en el bin i

3 Resultados

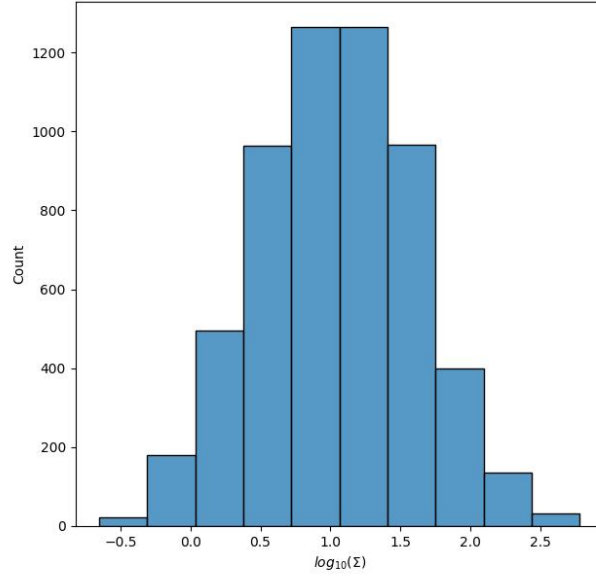


Figure 1. Distribucion de densidad local proyectada para 10 bins de un total de 5725 densidades $\Sigma \left[\frac{1}{\text{Mpc}^2} \right]$. Valores negativos de $\log_{10}(\Sigma)$ estan asociados a regiones de baja densidad, como es el caso de la periferia del cumulo, mientras que valores altos hacen referencia a lugares densamente poblados, como pueden ser los centros de los cumulos en promedio.

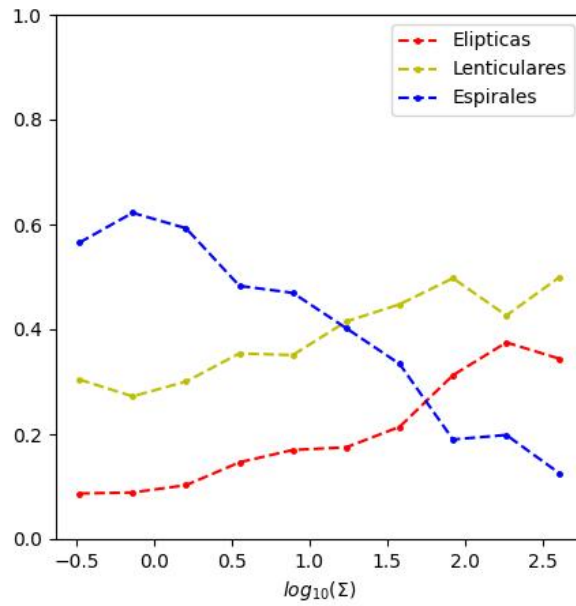


Figure 2. Distribucion normalizada de densidad local de las galaxias segregadas segun su tipo de Hubble. En las regiones menos densas (Periferia en los cumulos) podemos encontrar: (8.7, 30.4, 56.5)% \Leftrightarrow (E, S0, S+Irr) , en las regiones mas densas podemos encontrar: (34.4, 50.0, 12.5)% \Leftrightarrow (E, S0, S+Irr).

4 Conclusiones

Sin hacer referencia a la discusión de si el estimador de morfología mas fundamental es el radio o la densidad, los resultados obtenidos para la relación morfología-densidad, muestran claramente que existe una segregación morfológica basada en la densidad local proyectada.

La figura 2 muestra que las regiones menos densamente pobladas tienen asociada una población mayoritariamente de galaxias Espirales+Irregulares (56.5%). Conforme la densidad local aumenta, esta población decae hasta llegar a un mínimo en las regiones más densamente pobladas, donde en estas regiones apenas puede encontrarse un 12.5% de estas galaxias.

Contrariamente, la población de galaxias elípticas y lenticulares, tiene una tendencia creciente desde zonas de baja densidad a zonas de alta densidad. Estas dos poblaciones a su vez están bien diferenciadas. En las zonas de baja densidad, el porcentaje de galaxias lenticulares es alto, siendo de aproximadamente 30.4%, mientras que el porcentaje de galaxias elípticas es muy bajo, solo un 8.7%. Las poblaciones de ambas galaxias aumentan en similar proporción cuando se examinan zonas cada vez más densas.

El cambio en la densidad poblacional basada en la morfología en los cúmulos ricos sugiere que hay algún tipo de proceso, ya sea evolutivo o de entorno que parece dar lugar a la transformación de galaxias tipo S+Irr en S0 y E. Algunas de estas transformaciones podrían explicarse por Galaxy harassment, ram pressure, evaporación de gas y mergers como se sugiere en [3],[4].

Bibliography

- [1] George O Abell. The distribution of rich clusters of galaxies. *Astrophysical Journal Supplement*, vol. 3, p. 211 (1958), 3:211, 1958.
- [2] Andrea Biviano. From messier to abell: 200 years of science with galaxy clusters. *ArXiv preprint astro-ph/0010409*, 2000.
- [3] Mariano Domínguez, Hernán Muriel, and Diego G Lambas. Galaxy morphological segregation in clusters: local versus global conditions. *The Astronomical Journal*, 121(3):1266, 2001.
- [4] Alan Dressler. Galaxy morphology in rich clusters-implications for the formation and evolution of galaxies. *Astrophysical Journal, Part 1*, vol. 236, Mar. 1, 1980, p. 351-365., 236:351–365, 1980.
- [5] Stephen A Gregory. Redshifts and morphology of galaxies in the coma cluster. *Astrophysical Journal*, vol. 199, July 1, 1975, pt. 1, p. 1-9., 199:1–9, 1975.
- [6] Edwin Hubble. The realm of the nebulae. *The Scientific Monthly*, 39(3):193–202, 1934.
- [7] Houjun Mo, Frank Van den Bosch, and Simon White. *Galaxy formation and evolution*. Cambridge University Press, 2010.
- [8] WW Morgan and Janet Rountree Lesh. The supergiant galaxies. *Astrophysical Journal*, vol. 142, p. 1364, 142:1364, 1965.
- [9] Augustus Oemler Jr. The systematic properties of clusters of galaxies. photometry of 15 clusters. *Astrophysical Journal*, Vol. 194, pp. 1-20 (1974), 194:1–20, 1974.
- [10] Herbert J Rood, Thornton L Page, Eric C Kintner, and Ivan R King. The structure of the coma cluster of galaxies. *Astrophysical Journal*, vol. 175, p. 627, 175:627, 1972.
- [11] Peter Schneider. *Extragalactic astronomy and cosmology: an introduction*, volume 146. Springer, 2006.
- [12] Bradley C Whitmore, Diane M Gilmore, and Christine Jones. What determines the morphological fractions in clusters of galaxies? *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, vol. 407, no. 2, p. 489-509., 407:489–509, 1993.