

# Segregación Morfológica en Cúmulos Ricos

Candela Cerdosino

12 de junio de 2021

## Resumen

En este trabajo se utiliza la muestra de Dressler de 55 cúmulos y 5725 galaxias para reproducir la segregación morfológica encontrada por Dressler (1980b). Se determina la densidad local proyectada para cada galaxia de la muestra y se obtiene la distribución de la misma junto con la fracción de la población de galaxias según el tipo morfológico en función de la densidad local proyectada.

Luego se realiza una discusión sobre las relaciones densidad-morfología y radio-morfología, la cual sugiere que en las regiones interiores de los cúmulos la segregación puede ser descripta más significativamente por parámetros globales, como la distancia al centro, mientras que en las regiones externas, puede ser descripta por parámetros locales como la densidad local proyectada.

## 1. Introducción

Las galaxias no se distribuyen uniformemente en el espacio, sino que tienden a agruparse por la fuerza de gravedad en regiones donde la densidad numérica de galaxias es de unas decenas a cientos de veces mayor que el promedio. Por ejemplo, la Vía Láctea es miembro de un grupo, llamado Grupo Local, lo que implica que está en una región del Universo localmente sobredensa. Las más densas y pobladas de estas agrupaciones se denominan *cúmulos de galaxias*, mientras que las más pequeñas y menos pobladas se denominan *grupos de galaxias*. No hay una distinción bien definida entre ellos, históricamente, se distinguieron por el número de galaxias miembros. En términos generales, una acumulación de galaxias se denomina grupo si consta de  $N \lesssim 50$  miembros dentro de una esfera de diámetro  $D \lesssim 1,5h^{-1}Mpc$ . Mientras que los cúmulos normalmente contienen  $N \gtrsim 50$  galaxias miembros relativamente brillantes y diámetros  $D \gtrsim 1,5h^{-1}Mpc$ .



Figura 1: Cúmulo de galaxias Cl 0053-37, observado con el WFI en el telescopio ESO/MPG de 2,2 m. Créditos: M. Schirmer, European Southern Observatory.

### 1.1. Cúmulos de galaxias

Los cúmulos de galaxias juegan un papel muy importante en la cosmología observacional, en la Figura 1 se muestra un ejemplo de uno de ellos. Son las estructuras cósmicas más masivas, ligadas y relajadas (es decir, en estado de equilibrio dinámico) y que, por lo tanto, marcan los picos de densidad más prominentes de la estructura a gran escala del Universo. Por esa razón, su evolución cosmológica está directamente relacionada con el crecimiento de las estructuras cósmicas. Debido a su alta densidad numérica de galaxias, también son laboratorios ideales para estudiar las interacciones entre galaxias y su efecto sobre la población de galaxias.

Originalmente, los cúmulos de galaxias se caracterizaban por la concentración espacial observada de galaxias. Sin embargo, aunque las galaxias determinan la apariencia óptica del cúmulo, se ha encontrado por varios métodos que la masa contenida en ellas contribuye solo con una pequeña fracción a la masa total del cúmulo ( $M \gtrsim 3 \cdot 10^{14} M_{\odot}$  para los más masivos).

Las galaxias se mueven rápidamente en los cúmulos. Para los cúmulos ricos, la dispersión de velocidad típica en la línea de visión de las galaxias miembros es del orden de  $1000 \text{ km s}^{-1}$ . Si el cúmulo está en un estado dinámico estático, se puede inferir una estimación de la masa dinámica a partir del Teorema del Virial, obteniendo una masa característica de  $\sim 10^{15} h^{-1} M_{\odot}$ .

para cúmulos ricos. El movimiento relativo de las galaxias en los cúmulos implica una masa total del cúmulo mucho mayor que la que pueden explicar las estrellas que se ven en las galaxias miembros.

Por otro lado, los cúmulos son fuentes intensas de radiación de rayos X, cuya emisión es producida por un gas muy caliente ( $T \sim 10^7 - 10^8 K$ ) ubicado entre las galaxias, el cual se espera que esté completamente ionizado. La presencia de esta gran cantidad de gas intergaláctico o intracúmulo en el espacio entre las galaxias, forma el medio intracúmulo (ICM) que contiene más bariones que las estrellas que se ven en las galaxias miembros. Además, no todas las estrellas están unidas a galaxias, si no que algunas están distribuidas por todo el cúmulo, formando la componente de luz intracúmulo, que constituye el 20 % de la masa estelar.

Las observaciones en rayos X de los cúmulos se pueden utilizar para estimar la masa correspondiente al gas caliente, las cuales se encuentran en el rango  $(10^{13}-10^{14})h^{-5/2}M_{\odot}$ , aproximadamente 10 veces más grande que la masa estelar total de las galaxias miembros. Sin embargo, este gas sigue siendo insuficiente para mantener la cohesión gravitatoria de los cúmulos. Utilizando que el gas intracúmulo está en equilibrio hidrostático con el potencial del cúmulo, su distribución en él permite estimar la masa total del cúmulo. De nuevo, resulta que la masa total deducida es mucho más grande que la masa de las galaxias y del gas caliente juntos.

Otro método independiente para medir la masa gravitacional total de un cúmulo de galaxias es mediante lentes gravitacionales, obteniendo nuevamente que las masas totales de los cúmulos son un orden de magnitud mayor que las masas combinadas de estrellas y gas caliente.

A partir de la dinámica de las galaxias, de las propiedades del gas intracúmulo y del efecto de lente gravitacional, se deduce la existencia de materia oscura en los cúmulos de galaxias, la cual domina la masa del cúmulo tal como ocurre con las galaxias. En todos los casos se encuentra que más del 80 % de la masa del cúmulo está compuesta de materia oscura, sólo el 3 % de estrellas y alrededor del 15 % por el gas intracúmulo.

Con frecuencia, se ubica en o cerca del centro del cúmulo, galaxias gigantes con una envoltura exterior muy difusa y extendida, denominadas galaxias cD. Las galaxias cD son las galaxias más masivas conocidas (masas estelares mayor a  $10^{12}M_{\odot}$ ) y su luz puede representar hasta  $\sim 30\%$  de la luz visible total de un cúmulo rico de galaxias. Sin embargo, no está claro si la envoltura difusa de la galaxia se debe considerar como parte de la galaxia o como parte de la "luz intracúmulo" (ICL).

Los cúmulos en general son ricos en galaxias de tipo Elípticas y Lenticulares, ya que se ha encontrado que entornos más densos albergan fracciones

más grandes de galaxias de tipo temprano (Hubble & Humason, 1931). Esto sugiere que las galaxias experimentan transformaciones morfológicas en ambientes densos (cúmulos), donde se han sugerido varios mecanismos para las mismas.

La dependencia de la morfología de galaxias con el entorno es un tema que se ha estudiado desde hace años. Esta relación de morfología-densidad se cuantificó con mayor precisión por Dressler (1980b), quien estudió las morfologías de las galaxias en 55 cúmulos ricos y descubrió que la fracción de galaxias espirales disminuye del  $\sim 60\%$  en las regiones de menor densidad a menos del  $10\%$  en las regiones de mayor densidad, mientras que la fracción de elípticas y S0 revela el comportamiento opuesto.

Más recientemente, se encuentra que, además de una fracción mayor de morfologías de tipo temprano, los entornos más densos albergan galaxias que son en promedio más masivas, más rojas, más concentradas, menos ricas en gas y tienen tasas de formación estelar específicas más bajas.

En este trabajo se quiere reproducir el resultado al que llega Dressler (1980b) en la Figura 4 de su trabajo, donde se muestra la Segregación Morfológica de galaxias para una muestra de cúmulos ricos de galaxias.

## 2. Densidad local de galaxias

En este trabajo se utiliza una muestra de 56 cúmulos ricos de galaxias extraídos de Dressler (1980a), los cuales incluyen un número de 5725 galaxias. Para cada cúmulo se tiene el número de galaxias miembros y el redshift y las coordenadas ecuatoriales absolutas  $(\alpha, \delta)$  del centro de cada cúmulo. A su vez para cada galaxia, además de saber a qué cúmulo pertenece, se tiene su posición  $(\alpha, \delta)$  y tipo morfológico.

Para cada una de las galaxias en la muestra, se buscan los 10 vecinos más cercanos (proyectados) y se calcula el área proyectada local involucrada para cada galaxia, asumiendo la aproximación de que todas las galaxias de un cúmulo se encuentran al mismo redshift. La cosmología considerada es  $H_0 = 70 km Mpc^{-1} s^{-1}$  y se toma como velocidad de la luz  $c = 299792,458$ . Luego se determina la densidad numérica local proyectada por unidad de área en  $Mpc^{-2}$  para cada galaxia.

Como las galaxias se encuentran clasificadas por tipo morfológico, se almacenan las tres distribuciones numéricas separadas en función de la densidad local, para determinar qué fracción de galaxias en una densidad local son espirales + irregulares, lenticulares o elípticas.

En la Figura 2 se muestra la distribución del logaritmo de la densidad local

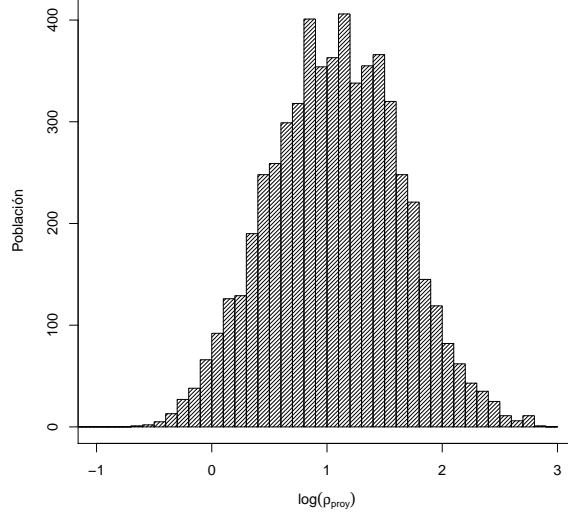


Figura 2: Distribución de la densidad local proyectada para las galaxias de la muestra de cúmulos.

proyectada. Se puede ver que la distribución tiene un pico con un máximo en  $\log(\rho_{proyec}) \sim 1$  y decae para valores menores y mayores, extendiéndose desde  $-0,5$  hasta 3 aproximadamente.

### 3. Resultados y discusión

En esta sección se muestran los resultados obtenidos, buscando reproducir los resultados que se muestran en el gráfico 4 del trabajo de Dressler (1980b).

En la Figura 3 se muestra la fracción de la población de galaxias según el tipo morfológico en función del logaritmo de la densidad local proyectada. En rojo se muestran las elípticas, en verde las lenticulares y en azul las espirales junto a las irregulares. En esta figura se puede ver la conocida **Segregación Morfológica de Galaxias** y se encuentra un gráfico similar al de Dressler (1980b), donde se nota una relación bien definida entre la **densidad local proyectada y el tipo morfológico de las galaxias**. Se puede ver que la fracción de galaxias elípticas aumenta continuamente con la densidad numérica, lo mismo que ocurre con la fracción de galaxias lenticulares. Mientras que la proporción relativa de galaxias espirales e irregulares disminuye monótonamente con una densidad creciente.

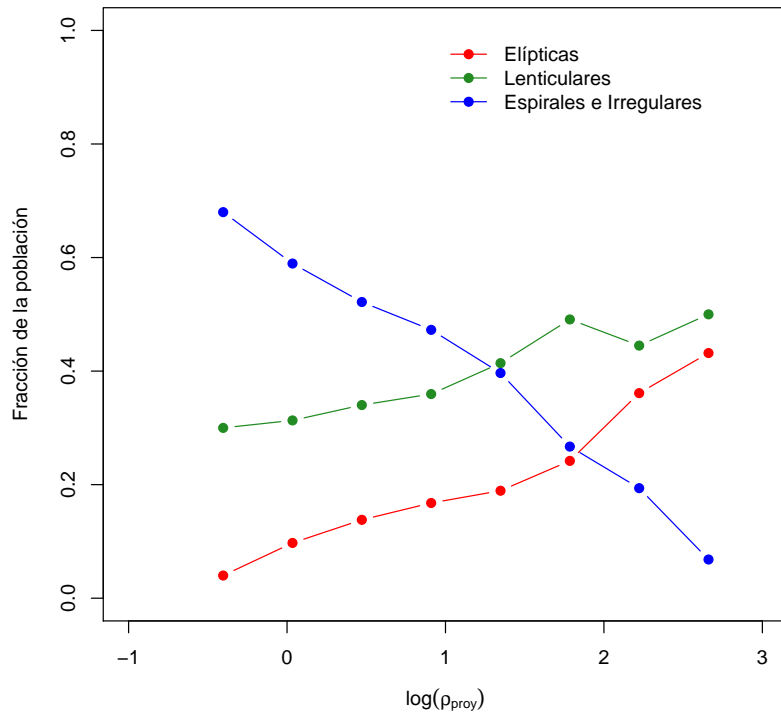


Figura 3: Fracción de galaxias E, S0 y S+Irr en función del log de la densidad proyectada, en galaxias  $Mpc^{-2}$ . En rojo se muestran las galaxias elípticas, en verde las lenticulares y en azul las espirales junto a las irregulares.

En el trabajo de Whitmore, Gilmore, & Jones (1993) reexaminan la muestra de galaxias de Dressler (1980b) y muestran que la relación morfología-radio (distancia proyectada desde el centro de los cúmulos) es más fundamental que la relación de morfología-densidad local proyectada obtenida por Dressler. Esta conclusión está respaldada por correlaciones cuando el radio centrado en el cúmulo se usa como parámetro independiente, y por una comparación de galaxias con los mismos radios normalizados con diferentes valores para la densidad local. La relación morfología-radio, cuando se normaliza por un radio óptico característico del cúmulo  $R_c^{opt}$ , no varía en función de la densidad numérica dentro de  $0,5Mpc$ , la luminosidad de rayos X o la velocidad de dispersión. Este resultado significa que solo se necesita un parámetro para determinar las fracciones morfológicas en cúmulos: el radio del cúmulo normalizado  $R/R_c^{opt}$ .

Particularmente en la Figura 4 del trabajo de Whitmore, Gilmore, & Jones (1993) se muestra la relación morfología-radio para los cúmulos de la muestra de Dressler (1980b). Ellos encuentran que la fracción de galaxias elípticas es relativamente constante en todo el cúmulo, para todos los tipos de cúmulos, excepto para la región más interna donde aumenta rápidamente al  $\sim 60\%$  en radios menores a  $0,12Mpc$  del centro del cúmulo. La fracción de galaxias S0 aumenta moderadamente a medida que se acerca al centro y cae bruscamente dentro de  $\sim 0,2Mpc$  del centro. Por último, la fracción de galaxias espirales cae moderadamente a medida que disminuye el radio y luego cae rápidamente cerca del centro siendo esencialmente nula en el centro del cúmulo. Estos resultados son diferentes a los encontrados por Dressler (1980b).

La cuestión de si es más fundamental la relación morfología-densidad o la relación morfología-radio, tiene como objetivo identificar los mecanismos físicos relevantes responsables de determinar las fracciones morfológicas en los cúmulos.

En Whitmore, Gilmore, & Jones (1993), la relación morfología-radio parece ser la correlación más fundamental, sugiriendo que los mecanismos globales, más que los locales, son los responsables de controlar las fracciones morfológicas en grupos. Por el contrario, Dressler (1980b) concluyó que la morfología de las galaxias es una función de la agrupación local (densidad local proyectada) más que de las condiciones globales relacionadas con el entorno del cúmulo.

Por otro lado, Domínguez, Muriel, & Lambas (2001) estudian la fracción relativa de las morfologías de galaxias en cúmulos como una función de parámetros globales de los cúmulos y de la densidad local proyectada de las galaxias. Los resultados que obtuvieron sugieren que diferentes mecanismos controlan la segregación morfológica dependiendo del entorno de la galaxia.

Encontraron que los mecanismos de naturaleza global dominan en ambientes de alta densidad, mientras que la densidad de galaxias local proyectada como la define Dressler (1980b) es el parámetro relevante en las periferias del cúmulo, donde la influencia del cúmulo como un todo es relativamente pequeña en comparación con los efectos locales.

## Referencias

- Domínguez M., Muriel H., Lambas D. G., 2001, *AJ*, 121, 1266. doi:10.1086/319405
- Dressler A., 1980a, *ApJS*, 42, 565. doi:10.1086/190663
- Dressler A., 1980b, *ApJ*, 236, 351. doi:10.1086/157753
- Hubble E., Humason M. L., 1931, *ApJ*, 74, 43. doi:10.1086/143323
- Mo, H., van den Bosch, F. and White, S., *Galaxy Formation and evolution*, 2010, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK
- Schneider. P., *Extragalactic Astronomy and Cosmology, An Introduction*, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, 2015
- Whitmore B. C., Gilmore D. M., Jones C., 1993, *ApJ*, 407, 489. doi:10.1086/172531