



|                         |                                                                                                 |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Publication Year</b> | 2020                                                                                            |
| <b>Acceptance in OA</b> | 2021-11-15T14:20:00Z                                                                            |
| <b>Title</b>            | Anisotropías en el apagado de galaxias en las afueras de cúmulos                                |
| <b>Authors</b>          | Salerno, J. M., Martínez, H. J., Muriel, H., Coenda, V., Vulcani, Benedetta                     |
| <b>Handle</b>           | <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12386/31079">http://hdl.handle.net/20.500.12386/31079</a> |
| <b>Journal</b>          | BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ASTRONOMÍA                                                |
| <b>Volume</b>           | 61B                                                                                             |



# Anisotropías en el apagado de galaxias en las afueras de cúmulos

J.M. Salerno<sup>1</sup>, H.J. Martínez<sup>1,2</sup>, H. Muriel<sup>1,2</sup>, V. Coenda<sup>1,2</sup> & B. Vulcani<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astronomía Teórica y Experimental, CONICET-UNC, Argentina

<sup>2</sup> Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina

<sup>3</sup> Osservatorio Astronomico di Padova, INAF, Padova, Italia

Contacto / jsalerno@oac.unc.edu.ar

**Resumen** / Estudiamos los efectos del entorno en el apagado de galaxias en las afueras de cúmulos del relevamiento espectroscópico OmegaWINGS ( $0.04 < z < 0.08$ ). Utilizamos las galaxias de los cúmulos OmegaWINGS que están unidas a cúmulos de galaxias a través filamentos. Estudiamos de forma separada a las galaxias ubicadas en dos regiones en las afueras de estos cúmulos de acuerdo a si están ubicadas o no en dirección de filamentos. Encontramos que la fracción de galaxias pasivas en las afueras de los cúmulos son intermedias entre la de los cúmulos y la del campo. Además, encontramos evidencia de un apagado más efectivo en la dirección de los filamentos. También analizamos la abundancia de galaxias con reciente estallido de formación estelar en las afueras de los cúmulos, enfocando nuestro estudio en dos conjuntos extremos de galaxias según su posición en el espacio de las fases: galaxias *backsplash* y galaxias que están cayendo por primera vez.

**Abstract** / We study the effects of the environment on galaxy quenching in the outskirts of clusters of the spectroscopic survey OmegaWINGS ( $0.04 < z < 0.08$ ). We use the OmegaWINGS galaxies clusters that are linked to other groups/clusters by filaments, and study separately galaxies located in two regions in the outskirts of these clusters according to whether they are located towards the filaments' directions or not. We find a fraction of passive galaxies in the outskirts of clusters intermediate between that of the clusters and the field. We find evidence of a more effective quenching in the direction of the filaments. We also analyse the abundance of post-starburst galaxies in the outskirts of clusters focusing our study on two extreme set of galaxies according to their phase-space position: *backsplash* galaxies and true infaller galaxies.

**Keywords** / galaxies: evolution — galaxies: clusters: general — galaxies: groups: general — galaxies: star formation — galaxies: statistics

## 1. Introducción

Es bien sabido que el entorno afecta a las propiedades de las galaxias, como la formación estelar, la morfología, la luminosidad, el color, el contenido de gas y la estructura de sus sub-sistemas. Los cúmulos de galaxias son los objetos más masivos en equilibrio virial que se pueden encontrar en el Universo. Estos sistemas crecen por la acumulación de galaxias y grupos de galaxias desde sus alrededores, preferentemente a través de los filamentos y, en menor medida, desde otras direcciones. El entorno de los cúmulos se caracteriza por un pozo de potencial gravitacional profundo y por un medio intra cúmulo (MIC) que se llena con gas ionizado caliente. Dentro de los cúmulos, las galaxias tienen propiedades que difieren de las del campo. Las galaxias que pasan a través del MIC a altas velocidades sufren el fenómeno de presión de barrido que puede eliminar una fracción importante del gas frío (Gunn & Gott 1972, Abadi et al. 1999), con la consiguiente disminución de sus tasas de formación estelar (SFR, por sus siglas en inglés). El viaje de una galaxia a través del MIC también puede eliminar el gas caliente de la galaxia, mecanismo conocido como estrangulación (Larson et al. 1980; McCarthy et al. 2008).

El objetivo de este trabajo es comprender los efectos de los filamentos sobre las galaxias comparando propie-

dades en las afueras de cúmulos, teniendo en cuenta que están cayendo desde filamentos o desde otras direcciones. El enfoque del estudio es el apagado estelar. El apagado de galaxias puede entenderse como una interrupción de cualquiera de las condiciones necesarias para la formación estelar, lo que genera que una galaxia se vuelva pasiva (PAS).

## 2. Datos y Entornos

Los cúmulos de galaxias utilizados en este artículo son una submuestra extraída del relevamiento espectroscópico OmegaWINGS (en adelante OW, Moretti et al. 2017). Un relevamiento de multiple longitud de onda diseñado para cubrir las afueras de 76 cúmulos ricos, con un rango de desplazamiento al rojo de  $0.04 \leq z \leq 0.07$  (Gullieuszik et al., 2015; Moretti et al., 2017). Todos nuestros cálculos se han realizado pesando cada galaxia para corregir por incompletitud geométrica y de magnitud. La muestra espectroscópica final incluye 14.801 galaxias en 35 cúmulos con una completitud espectroscópica superior al 50%. Las galaxias OW se han clasificado según sus características espectrales en tres tipos diferentes: pasivas (PAS), con línea de emisión (LEM, galaxias con formación estelar) y con reciente es-

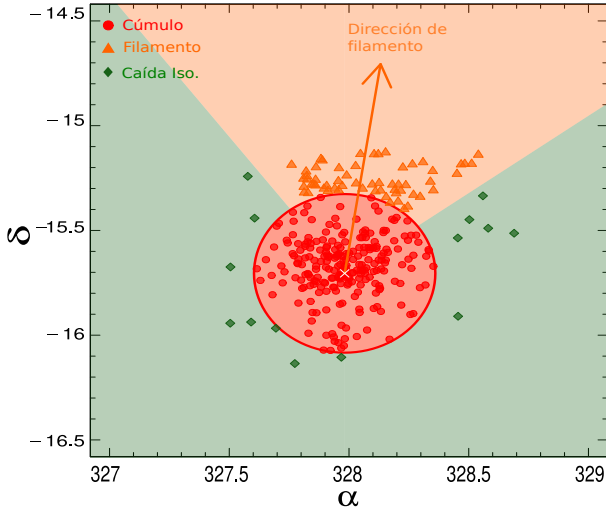


Figura 1: Ejemplo de los diferentes entornos en un cúmulo OmegaWINGS. El círculo corresponde a  $R_{200}$ . La flecha naranja indica la dirección hacia el filamento. Las galaxias en el cúmulo se muestran como círculos rojos. Las galaxias que caen isotrópicamente se muestran como diamantes verdes, mientras que los triángulos naranjas representan galaxias en la región de filamento.

Tabla 1: Número de galaxias por entorno y el tipo espectral.

|       | Campo | Caída Iso. | Filamentos | Cúmulos |
|-------|-------|------------|------------|---------|
| Total | 371   | 107        | 258        | 4604    |
| PAS   | 60    | 41         | 174        | 2572    |
| EML   | 5     | 5          | 16         | 355     |

tallido de formación estelar (PS). Estas últimas se caracterizan por brote de formación estelar reciente, sin presentar formación estelar en los últimos  $\sim 10^7$  años.

La identificación de filamentos se realizó en una muestra independiente de grupos, identificados en el relevamiento Six Degree Field Galaxy Survey (6df, Jones et al. 2004) en la misma área angular y mismo rango de corrimiento al rojo que los cúmulos OW, siguiendo el mismo procedimiento utilizado en Martínez et al. (2016). Luego hicimos una correlación entre los centros de los cúmulos OW y los nodos de los filamentos en el 6df. Hemos encontrado 14 coincidencias que constituyen nuestra submuestra de cúmulos OW.

La selección de galaxias en las afueras de los cúmulos se realizó priorizando la completitud sobre la pureza. En consecuencia, consideramos como las regiones periféricas de los cúmulos el volumen proyectado más allá de  $R_{200}$  y  $|\Delta V| = |\bar{V} - V_{\text{gal}}| \leq 4\sigma$ , donde  $\bar{V}$  y  $V_{\text{gal}}$  son la velocidad en la línea de la visual del cúmulo y de la galaxia, respectivamente, y  $\sigma$  es la dispersión de la velocidad radial.

Clasificamos las galaxias que cumplen con los criterios antes mencionados en dos categorías: i) consideramos que son galaxias que caen a lo largo de filamentos (en adelante FG) a aquellas que están ubicadas dentro de  $45^\circ$  de la dirección (proyectada) entre el cúmulo y el otro nodo del filamento (en lo sucesivo, dirección de filamento), y, ii) galaxias que caen isotrópicamente (de aho-

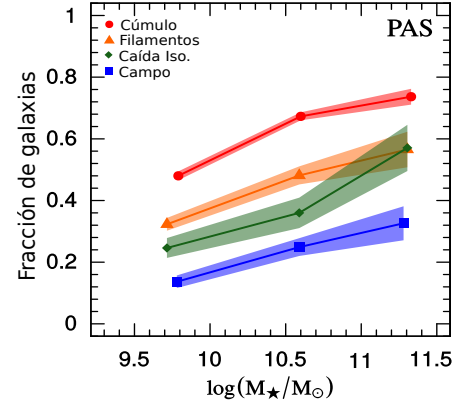


Figura 2: Fracción de galaxias PAS en función de la masa estelar. Las barras de error se calcularon con la técnica de remuestreo *bootstrap*.

ra en adelante, IG) a las que se encuentran fuera de la dirección de filamento. Para fines de comparación, también consideramos una muestra de galaxias en cúmulos que consisten en todas las galaxias OW con una distancia proyectada dentro de  $R_{200}$  del centro del cúmulo y la velocidad de la línea de visión  $|\Delta V| \leq \sigma$ . Además, construimos una muestra de galaxias de campo, que incluye todas las galaxias en todo el campo de visión de los cúmulos OW con  $|\Delta V| > 4\sigma$ . El número de galaxias por entorno y tipo espectral se muestra en la Tabla 1. En la Fig. 1 mostramos un ejemplo de un cúmulo OW, y las galaxias correspondientes a las muestras descritas anteriormente (excepto campo).

### 3. Resultados

La fracción de galaxias PAS en función de la masa estelar y el entorno se puede ver en la Fig. 2. Hemos considerado tres bins de masa  $\log(M_*/M_\odot)$ :  $9.3 - 10.0$ ,  $10.0 - 10.7$  y  $10.7 - 11.4$ . Podemos observar claramente que el entorno afecta la abundancia relativa de galaxias PAS. Como es de esperar, la fracción de galaxias PAS aumenta con la masa en todos los entornos. A pesar de que la masa estelar es el factor dominante detrás del apagado, el entorno hace la diferencia. Para una dada masa estelar, en los cúmulos, la fracción de galaxias PAS toma los valores más altos, seguidos en orden decreciente por FG e IG, y la fracción más baja corresponde al campo. Para el bin de masa más bajo, la fracción de galaxias pasivas en el campo está muy por debajo de 0.2, una indicación de la ineficiencia del campo para apagar estas galaxias. La fracción de galaxias PAS masivas en cúmulos es mayor que 0.7, lo que sugiere que, además de los procesos internos, el entorno de cúmulos es muy eficiente para apagar estas galaxias.

La comparación entre IG y FG muestra que, para los dos bins de masa más bajos, la fracción PAS es más alta para las galaxias que caen a lo largo de los filamentos que las que lo hacen isotrópicamente. Estos resultados están de acuerdo con los hallazgos de Martínez et al. (2016) y Salerno et al. (2019) en las afueras de grupos de galaxias con desplazamiento al rojo bajo y alto, respectivamente. Nuestros resultados indican que las afueras

de los cúmulos pueden preprocesar galaxias, contribuyendo significativamente a el apagado de la formación estelar, y también que los filamentos son más efectivos para hacerlo que la de caída región isotrópica.

Desde el punto de vista de la espectroscopía, las galaxias PS pueden estudiarse a través de la presencia de galaxias E + A (Dressler & Gunn 1983). Fritz et al. (2014) usa los tipos espectrales k + a y a + k para clasificar las galaxias PS en las galaxias OW.

Como se puede ver en la Tabla 1, la fracción de galaxias PS aumenta a medida que avanzamos del campo a entornos más densos. El porcentaje de PS en la región de caída isotrópica es menor que en la región del filamento. Sin embargo, el pequeño número de galaxias PS en nuestras muestras de campo e IG nos impide tener una estimación confiable de la incertidumbre involucrada, lo que no nos permite evaluar la importancia del resultado. Nuestros datos indican que la fracción de PS en los filamentos es menor que en los cúmulos.

De los Rios et al. (en preparación) utilizan simulaciones numéricas para analizar las órbitas de las galaxias en cúmulos. En especial, las órbitas de las galaxias de *backsplash* (BACK, de ahora en adelante), estas son galaxias que han pasado cerca del centro del cúmulo desde su caída y ahora están más allá del radio virial. Estos autores encuentran que casi la mitad de las galaxias recorren esta órbita en menos de  $1.5 \times 10^7$  años. Con el fin de probar la hipótesis de que algunas de las galaxias PS en las afueras de los cúmulos son BACK, aplicamos el criterio propuesto por Muriel & Coenda (2014) para seleccionar las galaxias, tanto BACK como las que estan cayendo por primera vez (galaxias NINF). Para estos autores, las galaxias en las afueras de los cúmulos con  $(R > R_{200}) |\Delta V|/\sigma > 0.5$  tienen una alta probabilidad de ser BACK. Por el contrario, las galaxias en las afueras con  $|\Delta V|/\sigma > 1$  se consideran galaxias NINF. El panel izquierdo de la Fig. 3 se muestra el diagrama de fase proyectado de las galaxias de nuestras muestras, esto es, la velocidad de la galaxia en la línea de la visión normalizada a la dispersión de velocidades del cúmulo en función de  $R/R_{200}$ . En el panel derecho de la Fig. 3 presentamos la fracción de galaxias BACK y NINF en función de la clasificación es complejo...espectral y el entorno en las afueras de los cúmulos. Como se puede ver, la mayoría (69%) de las galaxias PS en la región del filamento son BACK. Solo el 15% de las galaxias PS son NINF. Las galaxias PAS muestran un 45% de BACK y un 33% de NINF. Estos números apoyan el escenario en el que la mayoría de las galaxias PS en la región del filamento en las afueras de los cúmulos se apagaron previamente a menores distancias del centro del cúmulo. En la región de caída isotrópica, los resultados muestran una tendencia similar, sin embargo, el bajo número de galaxias PS en esta región hace que sea muy difícil obtener resultados concluyentes.

#### 4. Conclusiones

En las afueras de los cúmulos encontramos que la fracción de galaxias pasivas es intermedia entre las correspondientes a los cúmulos y al campo. Además, encontramos evidencia de un apagado más efectivo en la direc-

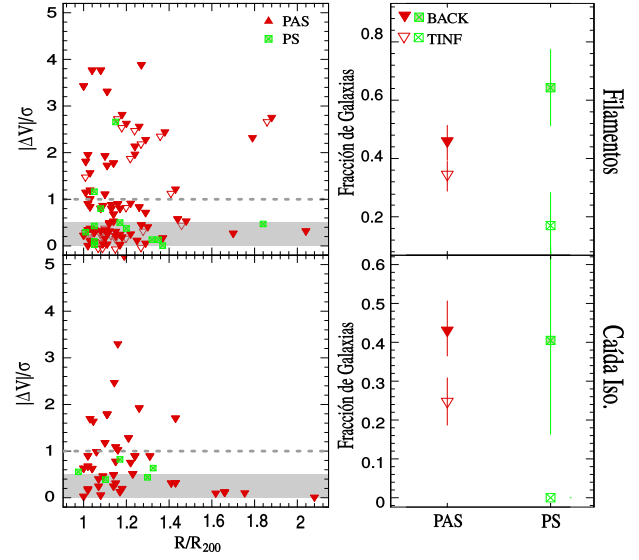


Figura 3: *Izquierda* Diagrama de fases proyectado. Las regiones grises muestran las galaxias BACK. Las líneas discontinuas grises indican el límite inferior de las galaxias NINF. Las galaxias pasivas se muestran en triángulos rojos y las galaxias PS en símbolos verdes. *Derecha* Fracción de galaxias en función de tipo espectral. Las galaxias BACK se muestran en símbolos sólidos y NINF en símbolos abiertos.

ción de los filamentos. Estos resultados están de acuerdo con un escenario en el que el preprocesamiento de galaxias antes de caer a los cúmulos es más efectivo en filamentos (Martínez et al., 2016; Salerno et al., 2019).

Utilizamos las posiciones en el espacio de las fases de las galaxias en las afueras de los cúmulos para enfocar nuestro análisis en dos conjuntos de galaxias: BACK y NINF. Encontramos que es probable que hasta  $\sim 70\%$  de las galaxias PS en la dirección de los filamentos sean BACK; este número cae a  $\sim 40\%$  en la región de caída isotrópica. El hecho que la mayoría de las galaxias PS en filamentos sean BACK sugiere que se apagaron dentro de los cúmulos, por lo que los filamentos no serían muy eficientes en apagar la formación estelar en el presente.

#### Referencias

- Abadi M.G., Moore B., Bower R.G., 1999, MNRAS, 308, 947
- Dressler A., Gunn J.E., 1983, ApJ, 270, 7
- Fritz J., et al., 2014, A&A, 566, A32
- Gullieuszik M., et al., 2015, A&A, 581, A41
- Gunn J.E., Gott J.R.I., 1972, ApJ, 176, 1
- Jones D.H., et al., 2004, MNRAS, 355, 747
- Larson R.B., Tinsley B.M., Caldwell C.N., 1980, ApJ, 237,
- Martínez H.J., Muriel H., Coenda V., 2016, MNRAS, 455,
- McCarthy I.G., et al., 2008, MNRAS, 383, 593
- Moretti A., et al., 2017, A&A, 599, A81
- Muriel H., Coenda V., 2014, A&A, 564, A85
- Salerno J., Martínez H.J., Muriel H., 2019, MNRAS, 484, 2