

# Análisis de los índices de Lick en el cúmulo de Coma

M.C. Scalia<sup>1,2</sup>, A.V. Smith Castelli<sup>1,2</sup> & F.R. Faifer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

<sup>2</sup> Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

Contacto / mscalia@fcaglp.unlp.edu.ar

**Resumen** / Se presenta aquí el análisis de la relación color-magnitud (RCM) o secuencia roja (SR) del cúmulo de Coma, a través de la obtención de los índices de Lick. La RCM o SR es una relación fotométrica que ha sido analizada y discutida desde hace ya más de 60 años. Se conoce que la misma representa, principalmente, una relación masa-metalicidad y que además muestra pendientes y dispersiones similares en diversos medioambientes. Sin embargo, se desconoce aún de qué manera las diferentes especies químicas contribuyen a la definición y ubicación de cada galaxia en esta relación. En trabajos anteriores, hemos encontrado que en el cúmulo de Virgo pareciera existir un cierto grado de dependencia del color ( $g-z$ ) con algunos de los mencionados índices, dependencia que no se detecta en una muestra de galaxias de tipo temprano ubicadas en la zona del cielo denominada Stripe-82. Nos preguntamos si la detección de tales dependencias en el cúmulo de Virgo y no en la región del Stripe-82 estaría indicando que las mismas se originan en efectos de medioambiente. Para intentar responder a este interrogante, analizamos una muestra de 154 galaxias pertenecientes al cúmulo de Coma, a través de sus espectros obtenidos de la base de datos del Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Encontramos que el comportamiento de dichos índices para la muestra del Cúmulo de Coma resulta similar a la del Cúmulo de Virgo, pero extendido hacia luminosidades mayores, indicando dependencias similares en ambientes de cúmulos.

**Abstract** / We present here the analysis of the color-magnitude relation (CMR) or red sequence (RS) of the Coma cluster, by obtaining the Lick indices. The CMR or RS is a photometric relation that has been analyzed and discussed for more than 60 years. It is known that it mainly represents a mass-metallicity relationship and that it also shows similar slopes and dispersions in different environments. However, it is still unknown how the different chemical species contribute to the definition and location of each galaxy in this relation. In previous work, we have found that in the Virgo cluster there seems to be some degree of color ( $g-z$ ) dependence on some of the above indices, a dependence that is not detected in a sample of early-type galaxies located in the Stripe-82 region of the sky. We wonder if the detection of such dependencies in the Virgo cluster and not in the Stripe-82 region would indicate that they originate from environmental effects. To try to answer this question, we analyzed a sample of 154 galaxies belonging to the Coma cluster, through their spectra obtained from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) database. We find that the behavior of these indices for the Coma Cluster sample is similar to that of the Virgo Cluster, but extended towards higher luminosities, indicating similar dependencies in cluster environments.

**Keywords** / galaxies: elliptical and lenticular, cD — galaxies: dwarf — galaxies: clusters: general — galaxies: clusters: individual (Virgo) — galaxies: abundances

## 1. Introducción

Las galaxias de tipo temprano (elípticas y lenticulares) comprenden rangos de masas muy amplios. Se sabe que las más masivas son las trazadoras de las regiones más densas del Universo (Dressler, 1980) y las menos masivas, los objetos más numerosos y débiles dentro de los grupos y cúmulos de galaxias. Sin embargo, ambos tipos comparten la gran sencillez morfológica y la uniformidad en las relaciones de diversos observables (ver por ejemplo, Visvanathan & Sandage, 1977; Prugniel & Simien, 1997). En este contexto, el estudio de la evolución de estas galaxias en distintos entornos, es un gran desafío para la astronomía moderna. Existe una relación fotométrica que este tipo de galaxias define en los diagramas color-magnitud, que es conocida como “Secuencia Roja” o “Relación Color-Magnitud” (RCM). Ésta muestra cómo las galaxias más masivas son también las más rojas. La RCM es también una fuerte indicadora de

la relación entre la masa y la metalicidad de las galaxias de tipo temprano (Visvanathan & Sandage, 1977; Bower et al., 1992; Smith Castelli et al., 2013; Roediger et al., 2017) y presenta características similares de pendiente y dispersión independientemente del medioambiente en el que dichas galaxias residan (ver por ejemplo, Bower et al., 1998; Kodama et al., 1998; Wake et al., 2005; Bernardi et al., 2006). El estudio de los procesos a partir de los cuales se formaron y evolucionaron las galaxias de tipo temprano puede encararse examinando sus poblaciones estelares y su correspondiente contenido químico. Esto hace que ambas herramientas, aplicadas en conjunto, puedan contribuir a entender su origen y a visualizar cual de los actuales escenarios de formación, se ajusta mejor (ver por ejemplo, Toomre & Toomre, 1972; Larson, 1974; McGlynn, 1984; Arimoto & Yoshii, 1987; Cole et al., 1994; Bower et al., 1998; Chiosi & Merlin, 2015; Naab & Ostriker, 2017).

## 2. Las muestras

Este trabajo contiene el análisis de una muestra espectroscópica correspondiente a 154 galaxias de tipo temprano pertenecientes al Cúmulo de Coma (Rood et al., 1972; Kent & Gunn, 1982). Los espectros y los datos fotométricos fueron obtenidos de la base de datos del Sloan Digital Sky Survey SDSS DR16 (Ahumada et al., 2020; Fukugita et al., 1996). Los resultados de esta muestra se compararon con aquellos obtenidos para una muestra de 148 galaxias del Cúmulo de Virgo analizadas en trabajos anteriores (Scalia et al., 2019, 2021). En el análisis de ambas muestras, se utilizaron las magnitudes totales (cModelMag) que proporciona el SDSS para obtener las magnitudes absolutas. En cambio, para el cálculo de los colores, se utilizaron las magnitudes centrales (FiberMag), que son aquellas que cubren proporcionalmente los 3'' que abarcan las fibras ópticas del espectrógrafo. Dichas magnitudes se corrigieron por extinción.

## 3. Los índices de Lick

Son índices que se obtienen a partir de espectros integrados de las galaxias y pueden ser entendidos como una medida de la intensidad de las líneas/características en relación al continuo local, llamado pseudocontinuo. Estos definen un sistema de 25 índices llamado Lick/IDS, debido a que fue implementado a partir de espectros tomados en el Observatorio de Lick, con el instrumento "image dissector scanner" (IDS) (Worthey et al., 1994; Worthey & Ottaviani, 1997). Estos índices fueron un puntapié inicial para el estudio de las poblaciones estelares de las galaxias de tipo temprano y es uno de los métodos más utilizados hasta la actualidad para tal fin. La comparación de estos índices con modelos de poblaciones estelares, permite derivar edades y metalicidades de sistemas estelares a partir de espectros de  $\approx 9$  Å de resolución (ver por ejemplo, Thomas et al., 2003, 2004). Además, analizados de forma individual, cada uno de estos índices traza conjuntos diferentes de especies químicas dominantes (Worthey et al., 1994; Trager et al., 1998). En el presente trabajo, estos índices se calcularon utilizando el código LICK\_EW que integra parte del paquete EZ\_AGES (Graves & Schiavon, 2008). Los errores de los índices se estimaron utilizando los espectros de error brindados por SDSS y siguiendo las ecuaciones dadas por Cardiel et al. (1998).

## 4. Análisis y conclusiones

En trabajos anteriores (Scalia et al., 2019, 2021) se pudo ver que en el cúmulo de Virgo pareciera existir un cierto grado de dependencia del color (g-z) con algunos de los índices. Esta dependencia no se detectó en una muestra de galaxias de tipo temprano ubicada en la zona del cielo denominada Stripe-82 (en su mayoría, galaxias de campo) (Scalia et al., 2021). Estas diferencias abrieron el interrogante acerca de si las mismas estarían indicando efectos de medioambiente o errores debido a las indeterminaciones de las distancias, por lo que en este trabajo

se analiza una muestra en un ambiente de cúmulo. En la Fig. 1 se observa la RCM definida por el Cúmulo de Coma (triángulos) y por el Cúmulo de Virgo (círculos), en la que se puede apreciar que algunos índices de Lick parecen marcar un patrón en la RCM: los valores más altos del índice corresponden a colores fotométricos más rojos (y viceversa para  $H\beta$ ). Se puede ver que el comportamiento de dichos índices para la muestra del Cúmulo de Coma resulta similar a la del Cúmulo de Virgo, extendiendo hacia luminosidades mayores, las tendencias vistas en dicho cúmulo. Además se observa que los índices como el Ca4227 y el Fe5709 no muestran patrones definidos, mientras que otros que también son indicadores globales de metalicidad, sí lo hacen. Por su parte, los patrones observados en los índices relacionados con el hidrógeno, principalmente trazadores de la edad, muestran un resultado acorde a lo esperado: valores altos a lo largo de toda la RCM (poblaciones estelares viejas), salvo en el extremo de menor luminosidad (poblaciones estelares más jóvenes). En un futuro próximo esperamos poder aclarar si las diferencias observadas en los comportamientos de los distintos grupos de índices se debe al grado de preponderancia de las especies químicas que los dominan.

*Agradecimientos:* Agradecemos los Comités Organizadores Local y Científico por hacer posible este Congreso. También agradecemos a las Instituciones que financian nuestro trabajo: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Agencia I+D+i, y Universidad Nacional de La Plata (Argentina) y un gran agradecimiento a los Editores y al Árbitro.

## Referencias

- Ahumada R., et al., 2020, ApJS, 249, 3  
 Arimoto N., Yoshii Y., 1987, A&A, 173, 23  
 Bernardi M., et al., 2006, AJ, 131, 1288  
 Bower R., Kodama T., Terlevich A., 1998, MNRAS, 299  
 Bower R., Lucey J., Ellis R., 1992, MNRAS, 254, 601  
 Cardiel N., et al., 1998, A&AS, 127, 597  
 Chiosi C., Merlin E., 2015, MmSAI, 86, 162  
 Cole S., et al., 1994, MNRAS, 271, 781  
 Dressler A., 1980, ApJ, 236, 351  
 Fukugita M., et al., 1996, AJ, 111, 1748  
 Graves G.J., Schiavon R.P., 2008, ApJS, 177, 446  
 Kent S.M., Gunn J.E., 1982, AJ, 87, 945  
 Kodama T., et al., 1998, A&A, 334, 99  
 Larson R.B., 1974, MNRAS, 166, 585  
 McGlynn T.A., 1984, ApJ, 281, 13  
 Naab T., Ostriker J.P., 2017, ARA&A, 55, 59  
 Prugniel P., Simien F., 1997, A&A, 321, 111  
 Roediger J.C., et al., 2017, ApJ, 836, 120  
 Rood H.J., et al., 1972, ApJ, 175, 627  
 Scalia M.C., Smith Castelli A., Faifer F., 2019, BAAA, 61, 172  
 Scalia M.C., et al., 2021, BAAA, 62, 198  
 Smith Castelli A.V., et al., 2013, ApJ, 772, 68  
 Thomas D., Maraston C., Bender, 2003, MNRAS, 339, 897  
 Thomas D., Maraston C., Korn A., 2004, MNRAS, 351, L19  
 Toomre A., Toomre J., 1972, BAAS, vol. 4, 214  
 Trager S., et al., 1998, ApJS, 116, 1  
 Visvanathan N., Sandage A., 1977, ApJ, 216, 214  
 Wake D.A., et al., 2005, ApJ, 627, 186  
 Worthey G., Ottaviani D.L., 1997, ApJS, 111, 377  
 Worthey G., et al., 1994, ApJS, 94, 687

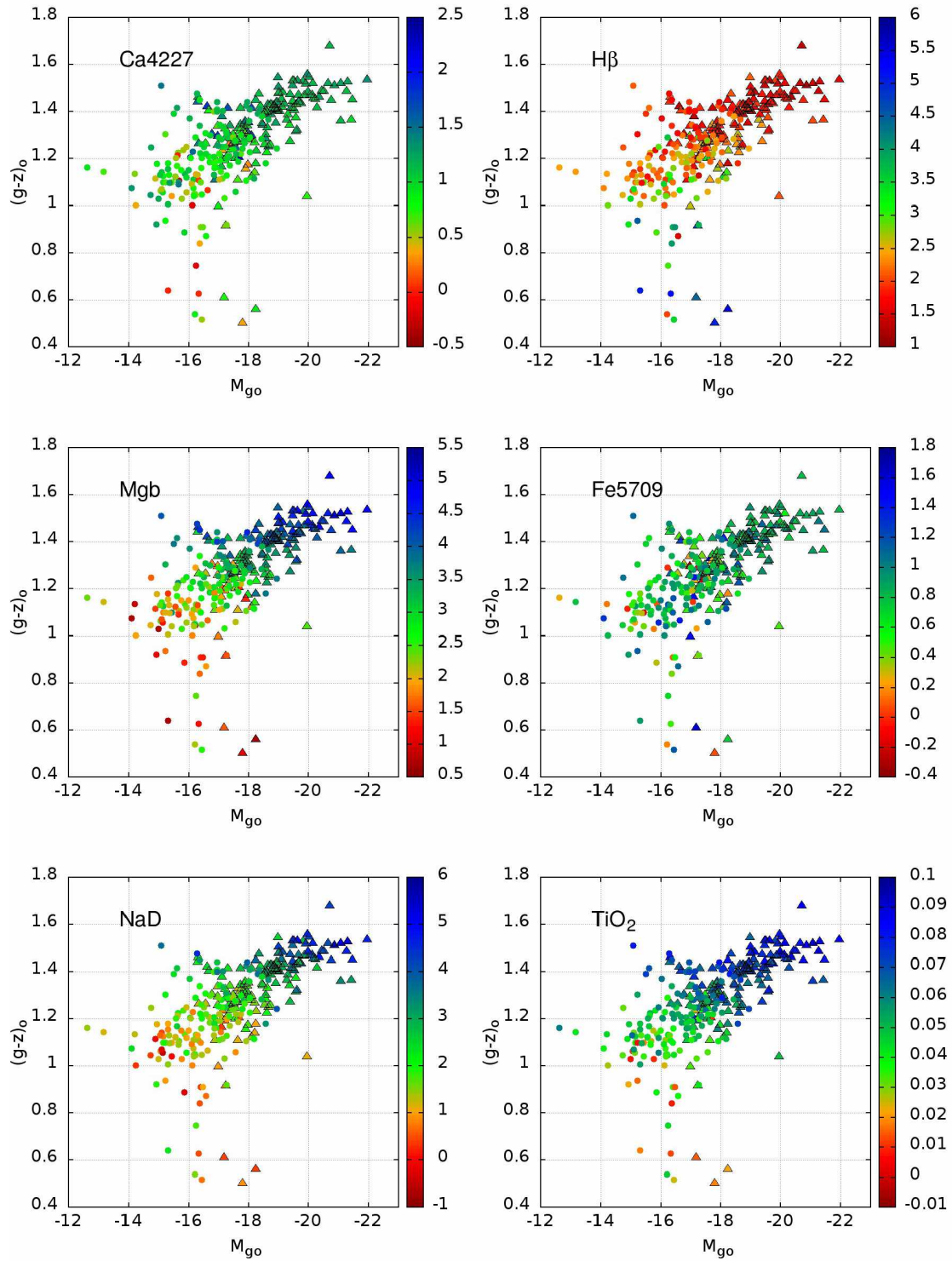


Figura 1: La relación color-magnitud (RCM) definida por el Cúmulo de Coma (triángulos) y por el Cúmulo de Virgo (círculos). Las distintas barras de colores muestran la variación de cada índice a lo largo de dicha relación. De izquierda a derecha, y de arriba hacia abajo, se muestran las variaciones para los índices Ca4227, H $\beta$ , Mgb, Fe5709, NaD y TiO $_2$  a lo largo de la RCM.