

Actividad de Formación Estelar en Grupos Compactos, estudio empírico de poblaciones estelares en el diagrama CM

Chavelas Astudillo L. Martín¹, Hidalgo Gámez Ana M.¹

¹Departamento de Física, ESFM-IPN, México D.F., México
Teléfono (55) 5729 6000 ext. 55017 E-mail: martin15517@gmail.com; amhidalgog@ipn.mx

Resumen — Se realizó un estudio de la localización de galaxias de los grupos compactos de Hickson en el diagrama color magnitud galáctico. Se trabajó con una muestra de 55 galaxias del catálogo HCG (Hickson's Compact Groups), para las cuales se estudia la localización en el diagrama. Se observa que casi no hay galaxias en la secuencia roja, mientras que hay bastantes galaxias clasificadas como tempranas en el llamado valle verde e incluso en la nube azul. Esto implicaría un trasvase de gas entre las galaxias del grupo, haciendo que se revitalizara la formación estelar en galaxias que ya no podía producirla por su baja cantidad de gas.

Palabras Clave – Grupos compactos, Interacción, formación estelar.

Abstract — A study of the location of galaxies from Hickson's compact groups have been undertaken here. A sample of 55 galaxies were located in the B-R vs M_R diagram. It is noticed that there are quite few galaxies in the so-called Red Sequence, while there are quite a lot of early-type galaxies in the Green Valley and even in the Blue Cloud. This might be due to a transfer of gas between the galaxies in each group, so the star formation is revitalized in those galaxies which had so few gas to do it before.

Keywords — Compact Groups, Interaction, Star Formation.

I. INTRODUCCIÓN

El estudio de los diagramas color magnitud se ha vuelto una herramienta muy útil para describir la evolución de las galaxias de acuerdo con su actividad de formación estelar. Esto significa que podemos conocer las propiedades evolutivas de una galaxia a partir de estudiar las poblaciones estelares que las conforman, y de manera intrínseca, del grado de metalicidad asociada a la galaxia según sea su posición en el diagrama CM [1].

El diagrama color magnitud para galaxias es un gráfico que muestra la relación existente entre la luminosidad o magnitud absoluta, y el color, desarrollada en 2003 de manera preliminar por Eric F. Bell y sus colaboradores de la exploración COMBO-171 [2], e incluso mucho antes, en 1961, en estudios realizados por el astrónomo Gerard de Vaucouleurs [3] para explicar la distribución bimodal de galaxias rojas y azules que se veían en los análisis de los datos

de esa época. Desde entonces ya es bien conocido que las galaxias están distribuidas en el espacio de color en una distribución bimodal (es decir agrupadas en dos aparentes grupos en la gráfica). En esta distribución bimodal, un pico es rojo y consiste en su mayoría de galaxias con baja o nula actividad de formación estelar (con tipo morfológico más temprano que las Sa). El otro pico es azul, y consiste principalmente de galaxias con formación estelar (de alta a intensa formación estelar), con tipo morfológico más tardío que las Sbc. Los cambios en color de las galaxias son debidos a cambios en las edades promedio, metalicidades, y el contenido de gas de las galaxias con la magnitud.

Los grupos compactos de galaxias son pequeños sistemas en una aparente proximidad cercana en el cielo. Las galaxias que conforman estas agrupaciones se encuentran físicamente asociadas y en ocasiones muestran peculiaridades en su morfología (como signos de interacción gravitacional) [4]. Estas asociaciones deben cumplir con criterios sobre el número de galaxias que las componen (población de 4 objetos o menos), aislamiento y compacidad para ser considerados como grupo compacto [5]. Estos grupos se consideran excelentes fuentes de información para conocer más acerca de las interacciones entre galaxias (sobre todo aquellas que se encuentran en este tipo de sistemas), y los efectos que pueden tener en la evolución de estas, como los cambios en las poblaciones estelares o en las abundancias del medio.

Como se ha visto, las galaxias en los grupos compactos (HCG a partir de ahora) sufren fuertes interacciones lo que conlleva un intercambio de gas que altera la formación estelar en las galaxias involucradas. Esto haría que las galaxias no sigan las posiciones esperadas en el diagrama color-magnitud según su tipo morfológico. Este es el objetivo de este trabajo.

El presente trabajo está estructurado como sigue: en la sección 2 se da una explicación de cómo se definió la muestra y como se obtuvieron los datos mientras que los resultados se presentan en la sección 3. En la sección 4 se discute sobre las posiciones de las galaxias en el diagrama Color-Magnitud y su tipo morfológico, así como si la presencia de una barra en las mismas es significativa en la posición en el diagrama de la galaxia. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección 5.

II. METODOLOGÍA

La muestra utilizada consiste en 55 galaxias pertenecientes a 13 Grupos de Hickson (HCG de sus siglas en inglés). Estas se eligieron porque eran las que tenían datos fotométricos que pudiésemos utilizar, sin ningún otro criterio adicional.

2.1.- Datos Fotométricos.

Para la muestra de 55 galaxias se obtuvieron los datos de fotometría a partir del catálogo de Hickson [4], en el cual se muestra un estudio fotométrico de 463 galaxias pertenecientes a los 100 grupos seleccionados por él. De estas se tienen que seleccionar tanto las magnitudes aparentes en dos bandas como la magnitud absoluta en una de dichas bandas. Nosotros utilizamos B y R porque la mayoría de las galaxias del HCG no presenta valores para la magnitud absoluta en la banda R y tampoco se encontraron estos datos en otras bases de datos astronómicas.

Se usaron los datos de las magnitudes aparentes en las bandas B y R observadas dentro de las isofotas con $\mu_B = 24.5 \text{ mag arsec}^{-2}$ y $\mu_R = 24.0 \text{ mag arsec}^{-2}$, tal y como las enlista [4]. Con estas magnitudes se obtuvo el color $m_B - m_R$ dentro de la isofota con $\mu_B = 24.5 \text{ mag arsec}^{-2}$.

En el catálogo de grupos compactos [4] no hay una determinación de la M_R por lo que se tuvo que obtener usando datos más recientes. Para ellos se utilizó el llamado paralaje fotométrica dado por la expresión:

$$M_R - m_R = -5 \log(d - 1) \quad (1)$$

Donde la distancia d se debe introducir en parsec, y donde se desprecia el término de corrección por extinción ya que en muchos casos no era posible determinar la misma. El valor de la distancia usado se determinó a partir del redshift Heliocéntrico presentado en la columna (4) de la tabla 1, y usando la ley de Hubble

$$D = \frac{zc}{H_0} \quad (2)$$

Se obtienen los valores para la distancia a cada galaxia. En esta expresión no se consideraron correcciones cosmológicas ni la corrección K, ya que ninguno de los grupos de galaxias está a z mayores que 0.2, que es el valor mínimo que algunos autores consideran para realizar dichas correcciones. Los parámetros cosmológicos usados, tomados de la base de datos de la NASA-NED, fueron: $H_0 = 67.8 \frac{\text{km}}{\text{sMpc}}$, $\Omega_{\text{materia}} = 0.308$, $\Omega_{\text{vacío}} = 0.692$. Los valores de la distancia así determinados se presentan en la columna (5) de la Tabla 1.

Los valores de las magnitudes aparentes y absolutas de cada una de las galaxias estudiadas aquí se presentan en las

columnas 6, 7 y 8 de la Tabla 1, mientras que el color (B-R) se presenta en la columna 9.

2.2.- Diagrama Color-Magnitud.

Como se comentó anteriormente, este diagrama se ha usado para diferenciar los distintos tipos de galaxias basadas en su formación estelar, ya que la posición de estas en él estaría determinada por la Historia de la Formación Estelar de la galaxia (SFH), la Función Inicial de Masa (IMF), la evolución química y la atenuación por polvo [6]. En la parte de arriba se presenta la llamada Secuencia Roja (o RS de sus siglas en inglés), donde según Bell y colaboradores estarían las galaxias con muy baja formación estelar. Esto conlleva una falta de estrellas jóvenes y azules, por lo que dichas en dichas galaxias el color es siempre más rojo [2]. Además, dichas galaxias suelen ser bastante brillantes, por lo que esta RS está más volcada hacia la derecha del diagrama. Aunque los valores exactos de la localización de esta RS en el diagrama dependen de las bandas utilizadas, se pueden extrapolar los valores para el diagrama en $u-r$ de [7], y se concluye que los valores de la RS en nuestro diagrama estarían por encima de $(B-R) > 1.9$.

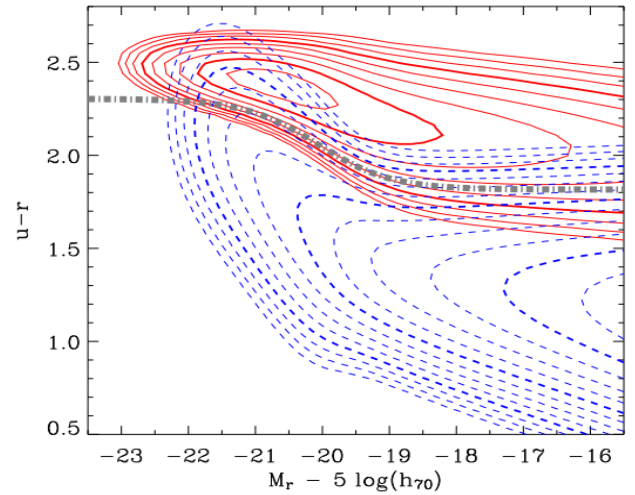


Fig. 1. Distribución Bimodal presentada por los autores en [1]. Se muestra la Nube azul y la Secuencia roja para galaxias en grupos (usando el sistema $u-r$).

Por el contrario, las galaxias con una formación estelar intensa están en la llamada Nube Azul (BC en inglés), que está localizada en la parte de abajo y hacia la izquierda del diagrama, ya que estas galaxias tienen una importante población de estrellas jóvenes, de modo que suelen tener colores azules y suelen ser menos luminosas. De nuevo, los valores de la BC en el diagrama se han determinado extrapolando los datos por [7] para el color $u-r$, y así consideramos que la BC en nuestro diagrama tiene valores $(B-R) < 1.5$.

Entre estas dos regiones existe el llamado Valle Verde (GV en inglés), que muchos autores lo ven como una transición entre ambas zonas, y estaría poblado por las galaxias con poca formación estelar, aunque no inexistente, debido a la disminución de las reservas de gas en las mismas. Se piensa que nuestra galaxia y la de Andrómeda pertenecen a esta zona, estando en transición de la Nube Azul a la Secuencia Roja al ir disminuyendo su actividad de formación estelar [8].

La estructura bimodal se puede observar en la figura 1, tomada de [7] Como se ve, hacia arriba se tiene la RS mientras que en la parte inferior del diagrama se sitúa la BC. El GV es más difícil de observar en este diagrama en concreto.

III. RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestra el diagrama color-magnitud para las galaxias aquí estudiadas junto con los lugares donde están la RS, la BC y el GV. En nuestros diagramas la magnitud absoluta en R, M_R disminuye hacia la izquierda en el eje x (es decir, mayores números indican mayor luminosidad). Mientras que para la parte del color ($B - R$), va de las galaxias azules (abajo) a las galaxias más rojas (hacia arriba).

Como se ve claramente, la zona más poblada es el GV mientras que casi no hay galaxias en la RS. Esto se podría explicar por el intercambio de gas en las interacciones de las galaxias en estos grupos, que haría que aumentaran los eventos de formación estelar para galaxias de tipo temprano (S0-Sa). Sin embargo, tampoco hay demasiadas galaxias en la BC, indicando que los eventos de formación estelar no son generalizados.

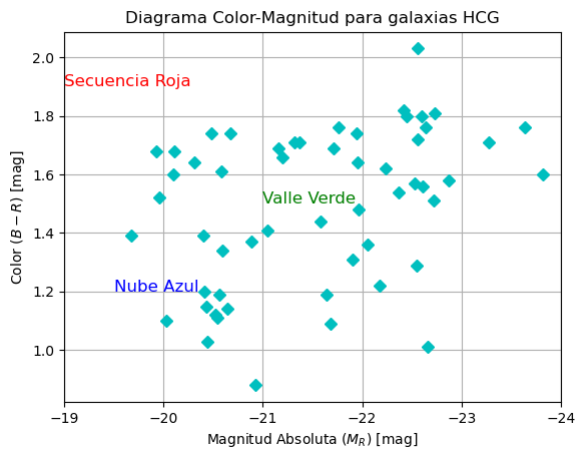


Fig. 2. Diagrama Color-Magnitud para la muestra de 55 galaxias pertenecientes a 13 de los 100 grupos compactos presentados por Hickson [4].

IV. DISCUSIÓN

Como se ha dicho, la diferenciación de las galaxias por color es algo conocido desde hace años. Por ejemplo, Tully y colaboradores [9] comentan que las galaxias tardías y tempranas están bien separadas en el diagrama C-M. Además, se cree que estos dos diferentes grupos de color son debidos a dos diferentes procesos de formación [7]. Por otro lado, este diagrama funciona como una forma práctica de diferenciar las galaxias tempranas, sobre todo a grandes distancias cuando la morfología no es aplicable [10]

Por consiguiente, queremos comprobar que esto sigue siendo posible para las galaxias en los HCG. Para ello se han separados las galaxias de la muestra en tres tipos: tempranas (E-S0), intermedias (Sa-Sbc) y tardías (Sc-Im). En las figuras 3, 4 y 5 se presentan como rombos, triángulos y cuadrados, respectivamente.

En la Fig.3 se ha enmarcado la zona de la RS y se ve que todas las galaxias dentro de la misma son tempranas, excepto una. Esto coincide con lo esperado, aunque hay que considerar que el número de galaxias en la misma es muy pequeño y no es estadísticamente significativo.

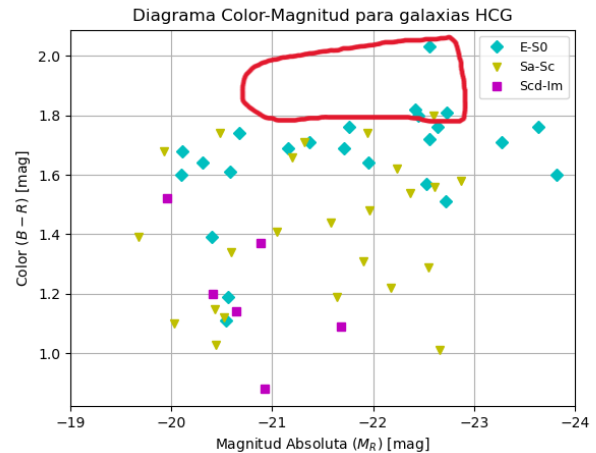


Fig. 3. Región de la secuencia roja del diagrama color-magnitud para galaxias de los grupos compactos de Hickson.

Por otro lado, todas las galaxias tardías excepto una, están en la nube azul (Figura 4). Lo más interesantes es que además hay tres galaxias tempranas y 14 galaxias intermedias, las cuales normalmente no tienen una formación estelar tan intensa como para que tengan colores tan azules.

Algo similar ocurre en el valle verde (Fig.5) con una población muy mezclada de galaxias intermedias y tempranas. Esto parece indicar de nuevo que hay un rejuvenecimiento de las galaxias, con una mayor formación estelar en el caso de las galaxias intermedias y tempranas, donde sus reservas de gas se han visto aumentadas por la caída de gas hacia las mismas y, por tanto, se han reactivado la formación de estrellas.

<i>HCG</i>	<i>Nombre</i>	<i>Tipo</i>	<i>Redshift</i>	<i>Distancia</i>	M_R	m_B	m_R	<i>Color (B-R)</i>
01a	PGC 1627	Sc	0.03391	149.940	-22.55	15.02	13.33	1.29
01b	PGC 1625	Im	0.03423	151.355	-22.05	15.68	13.85	1.36
01c	PGC 1614	E0	0.03354	148.304	-21.71	16.21	14.15	1.69
01d	PGC 1618	S0	0.03376	149.277	-20.10	17.40	15.77	1.60
02a	PGC 1921	SBd	0.01450	64.115	-20.93	14.02	13.10	0.88
02b	PGC 1914	cI	0.01451	64.159	-20.64	14.62	13.40	1.14
02c	PGC 1927	SBc	0.01424	62.965	-20.03	15.14	13.97	1.10
02d	PGC 1934	SBb	0.07118	314.738	-22.37	16.74	15.12	1.54
03a	PGC 2045	Sc	0.02436	107.713	-21.05	15.60	14.11	1.41
03b	PGC 2064	SB0a	0.02622	115.937	-21.32	15.76	14.00	1.71
03c	PGC 2059	Sd	0.03851	170.280	-20.89	16.75	15.27	1.37
03d	PGC 2043	S0	0.02603	115.097	-21.16	15.98	14.15	1.69
04a	PGC 2047	Sc	0.02685	118.723	-22.66	13.80	12.71	1.01
04b	PGC 2046	Sc	0.02329	102.982	-20.44	15.70	14.62	1.03
04c	PGC 2051	E2	0.06141	271.538	-22.72	16.11	14.45	1.51
04d	PGC 2057	E4	0.02749	121.553	-20.56	16.12	14.86	1.19
04e	PGC 2040	Sab	0.06119	270.565	-21.90	16.61	15.26	1.31
05a	NGC 190	Sab	0.04045	178.858	-22.87	15.08	13.39	1.58
05b	PGC 2325	E0	0.04036	178.461	-22.56	15.99	13.70	2.03
05c	PGC 2322	S0	0.04166	184.209	-22.56	16.72	13.77	1.72
05d	PGC 2326	Sc	0.02740	121.155	-19.93	17.30	15.49	1.68
06a	PGC 2353	S0a	0.03892	172.093	-22.24	15.87	13.94	1.62
06b	PGC 2350	Sab	0.03795	167.804	-21.94	16.16	14.18	1.74
06c	PGC 2351	E5	0.03658	161.746	-21.95	15.97	14.09	1.64
06d	PGC 2347	Sbc	0.03814	168.644	-19.68	17.89	16.45	1.39
07a	NGC 192	Sb	0.01379	60.975	-21.96	13.50	11.97	1.48
07b	NGC 196	SB0a	0.01414	62.523	-21.58	13.94	12.40	1.44
07c	NGC 201	SBc	0.01458	64.469	-21.64	13.65	12.41	1.19
07d	NGC 197	SBc	0.01370	60.578	-20.52	14.85	13.39	1.12
08a	PGC 2886	E5	0.05363	237.137	-23.64	15.50	13.23	1.76
08b	PGC 2888	S0	0.05326	235.501	-22.42	16.41	14.44	1.82
08c	PGC 2890	S0	0.05700	252.038	-22.73	16.31	14.28	1.81
08d	PGC 2892	S0	0.05438	240.453	-22.64	16.41	14.27	1.76
09a	PGC 3201	E2	0.06723	297.272	-23.82	15.59	13.55	1.60
09b	PGC 3196	S0	0.03138	138.754	-20.54	15.95	15.17	1.11
09c	PGC 3200	Sc	0.03436	151.930	-20.59	16.96	15.32	1.34
09d	PGC 3198	SBcd	0.05838	258.140	-21.68	16.69	15.38	1.09
10a	NGC 536	SBb	0.01731	76.540	-22.61	13.49	11.81	1.56
10b	NGC 529	E1	0.01575	69.642	-22.53	13.35	11.68	1.57
10c	NGC 531	Sc	0.01737	76.805	-21.20	14.98	13.23	1.66
10d	NGC 542	Scd	0.01559	68.935	-19.96	15.82	14.23	1.52
11a	PGC 5362	SBbc	0.01839	81.315	-22.18	13.65	12.37	1.22
11b	PGC 5365	SBc	0.02452	108.421	-20.43	15.93	14.75	1.15
11c	PGC 5357	Scd	0.04304	190.311	-20.41	17.26	15.99	1.20
11d	PGC 5381	SB0	0.03231	142.866	-20.40	16.86	15.37	1.39
12a	PGC 5437	S0	0.04806	212.508	-23.27	15.25	13.37	1.71
12b	PGC 5439	SB0	0.04989	220.599	-21.76	16.82	14.96	1.76
12c	PGC 5445	S0	0.04904	216.841	-20.67	17.82	16.01	1.74

12d	PGC 5443	Sbc	0.04759	210.430	-20.48	18.16	16.14	1.74
12e	PGC 5432	S0	0.04759	210.430	-20.11	18.25	16.51	1.68
13a	PGC 5732	Sbab	0.04159	183.899	-22.60	15.69	13.72	1.80
13b	PGC 5735	E0	0.04138	182.971	-22.45	15.97	13.86	1.80
13c	PGC 5736	S0	0.04255	188.144	-21.37	16.96	15.00	1.71
13d	PGC 5728	S0	0.04112	181.821	-20.31	17.69	15.99	1.64
13e	PGC 5741	S0	0.04201	185.756	-20.58	17.82	15.76	1.61

Tabla 1. Se muestran los datos fotométricos obtenidos a partir del catálogo fotométrico de Hickson [2] usados para el diagrama Color-Magnitud de grupos compactos, para las columnas de izquierda a derecha se tiene; (1) Identificador de cada galaxia en el catálogo HCG, (2) Nombre de las galaxias en diferentes catálogos (mayormente en el sistema PGC), (3) Tipo Morfológico de Hubble para cada galaxia (Hubble Atlas of Galaxies (Sandage, 1961)), (4) Redshift heliocéntrico, (5) Distancia en Mpc de cada galaxia (obtenida con la ley de Hubble) sin consideraciones de corrección, (6) Magnitud Absoluta en la banda R sin corrección por extinción galáctica, (7) Magnitud Aparente en la banda B, (8) Magnitud Aparente en la banda R, (9) Color ($m_B - m_R$) para cada galaxia.

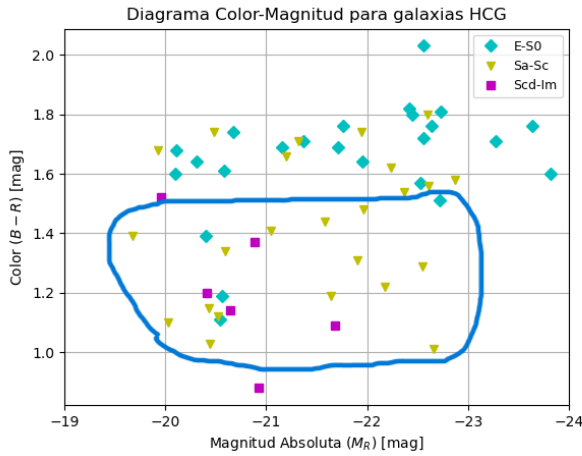


Fig.4 Región de la Nube Azul del diagrama color-magnitud para galaxias de los grupos compactos de Hickson.

Este no parece ser el único fenómeno que ocurre, ya que como se ha dicho, el número relativo de galaxias que están dentro de la BC no es demasiado grande y menor al esperado si se considera un fenómeno de rejuvenecimiento. Una explicación que se podría aventurar es pensar que hay un trasvase de gas, pero este va de galaxias tardías hacia galaxias intermedias/tempranas. De este modo, estas últimas aumentan su formación estelar pero no de forma muy dramática, como para localizarse en la BC, sino de forma más reposada y por eso se localizan más en el GV.

Un último estudio que se quiso hacer fue la influencia de las barras en la posición de las galaxias en el diagrama color-magnitud. Se cree que las barras pueden aumentar la formación estelar de una galaxia al canalizar el gas [11]. En la Fig.6 se presenta el diagrama color-magnitud diferenciando entre galaxias no barradas (estrellas color amarillo) y galaxias barradas (círculos de color negro). En esta figura se puede ver que la mayoría de las galaxias barradas están en la BC. Esto podría ser debido a diversas razones: bien que las barras favorezcan la formación estelar pero también a que las interacciones entre las galaxias hayan destruido las barras.

Esto último puede ser la explicación más probable considerando que solo el 25% galaxias de la muestra son barradas, cuando los valores para galaxias barradas de campo son del 60%.

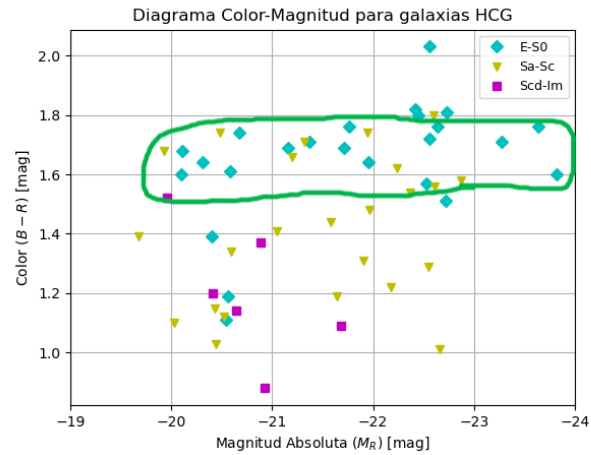


Fig.5. Región del valle verde del diagrama color-magnitud para galaxias de los grupos compactos de Hickson.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la localización de galaxias de grupos compactos en el diagrama color-magnitud. Se ha corroborado la existencia de un comportamiento bimodal en función de la magnitud absoluta para las galaxias que componen dichos grupos compactos. Sin embargo, se ha visto que hay pocas galaxias en la RS mientras que la mayoría de las galaxias están en la BC y el GV, lo que significa que en los grupos compactos la mayoría de las galaxias presenta una formación estelar de media a alta, lo que ha llevado a estas galaxias a no llegar a la secuencia roja. Además, el GV está muy poblado con galaxias de tipos tempranos, lo que no es esperable ya que estas galaxias tienen muy poca formación estelar. Se cree que esto es debido al trasvase de gas desde las galaxias más tardías hacia las más tempranas que provoca un aumento de la formación estelar en estas últimas y una disminución, aunque no tan apreciable, en las primeras. Por

último, se ve que hay una menor cantidad de galaxias barradas en comparación con galaxias de campo, y que casi todas ellas están situadas en la BC.

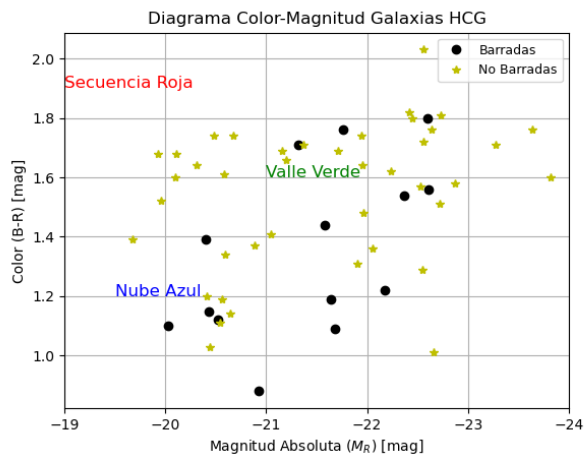


Fig.6. Diagrama Color-Magnitud para la muestra de galaxias dividida en galaxias con barra y galaxias no barradas

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha hecho uso de la base de datos extra galáctica de la NASA, NED/IPAC, que está financiada por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio, y operada por el Instituto de Tecnología de California.

REFERENCIAS

- [1] Diagramas de Color-Magnitud extra galácticos, disponible: <http://voyages.sdss.org/es/launch/cosmos/color-magnitude-diagram/>.
- [2] E. F. Bell, C. Wolf, K. Meisenheimer, H.-W. Rix, A. Borch, S. Dye, M. Kleinheinrich, L. Wisotzki y D. H. McIntosh, "Nearly 5000 distant early-type galaxies in COMBO-17: A red sequence and its evolution since $z \sim 1$," 2004, ApJ 608, 752.
- [3] G. De Vaucouleurs, "Integrated colors of bright galaxies in the u, b, V system," 1961, ApJS 5, 233.
- [4] P. Hickson, E. Kindi, y R. J. Auman, "A photometric catalog of compact groups of galaxies," 1989, ApJ, 70, 687.
- [5] P. Hickson, "Systematic properties of compact groups of galaxies," 1982, ApJ, 255, 382.
- [6] Blanton et al., "The Galaxy Luminosity Function and Luminosity Density at Redshift $z = 0.1$," 2003, ApJ 592, 819.
- [7] I. K. Baldry, K. Glazebrook, J. Brinkmann, Ž. Ivezić, R. H. Lupton, R. C. Nichol, A. S. Szalay, "Quantifying the Bimodal Color-Magnitude Distribution of Galaxies," 2004, Ap. J., 600, 681.
- [8] S. J. Mutch, D. J. Croton y G. B. Poole, "The mid-life crisis of the milky way and m31," 2011, ApJ 736, 84.
- [9] R. B. Tully, J. R. Mould, y M. Aaronson, "A color-magnitude relation for spiral galaxies," 1982, ApJ 257, 527.
- [10] Hogg et al., "Color-magnitude relation of galaxies," 2002, AJ124, 646.
- [11] L. R. Ho, A. V. Filippenko, y W. L. W. Sargent, "The Influence of Bars on Nuclear Activity," 1997, ApJ 487, 591.
- [12] S. A. Eales et al., "The causes of the red sequence, the blue cloud, the green valley, and the green mountain," 2018, MNRAS 481, 1183.
- [13] I. Strateva et al., "Color separation of galaxy types in the sloan digital sky survey imaging data," 2001, AJ 122, 1861.