

# Construcción de un catálogo de Grupos Compactos

Autor: Marcela Cecilia Pacheco

Director: Dra. Eugenia Díaz-Giménez

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física como parte de los requerimientos para la obtención del grado de Licenciado en Astronomía de la

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Marzo, 2011

©FaMAF - UNC



# Construcción de un catálogo de Grupos Compactos

Marcela Cecilia Pacheco

Director: Dra. Eugenia Díaz-Giménez

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Argentina, Marzo 2011



*Los miedos son gigantes de papel*

*Algún conocido*

*a Gustavo Cerati*



Canción para los días de la vida

Este día empieza a crecer voy a ver si puedo correr Con la mañana  
silbándome en la espalda o mirarme en las burbujas.  
Tengo que aprender a volar entre tanta gente de pie. Cuidan de mis alas  
unos gnomos de lata que de noche nunca rien.  
Si la lluvia llega hasta aquí voy a limitarme a vivir. Mojaré mis alas como  
el árbol o el ángel o quizás muera de pena.  
Tengo mucho tiempo por hoy los relojes haran que cante  
Y la espuma gira en torno a mi piel me han puesto manos para hablarle a  
las cosas de mi.  
Y al fin mi duende nació tiene orejas blancas como un soplo de pan y arroz  
Y un hongo como nariz cuatro pelos locos y un violín que nunca calla solo  
se desprende y es igual a las guirnaldas.  
Este día es algo de sal me dejó vibrando al nacer pesa y es liviano como un  
hilo sin nombre suena un poco a mi guitarra.  
Tengo que aprender a ser luz entre tanta gente detras. Me pondré las  
ramas de este sol que me espera para usarme como al aire.  
Y es que al fin mi duende se abrió tiene un corazón de mantel y batón y un  
guiño al ver que todo es verdad.  
Ya los gnomos cuiden a un violín que siempre canata nunca se adormece y  
es igual a las guirnaldas.  
Y es que nunca calla, solo se desprende y es igual a las guirnaldas.

Luis Alberto Spinetta - A 18' del Sol (1977)





# Resumen

Se presenta un catálogo de Grupos Compactos extraído del catálogo de fuentes extendidas del 2MASS. Siguiendo los criterios definidos por Hickson (1982), se identificaron 329 Grupos Compactos en proyección. Luego de realizar una inspección visual, se encontró que sólo 295 constituyen el catálogo final. El 78% de los Grupos Compactos de este catálogo constituyen una muestra completamente nueva. De los Grupos Compactos proyectados, sólo 97 grupos tienen cuatro o más galaxias con redshifts concordantes. Estos constituyen un catálogo de Grupos Compactos filtrados en velocidad radial, y conforman la mayor muestra de Grupos Compactos con velocidades concordantes que existe en la actualidad. Las propiedades generales de estos grupos y la comparación con otros catálogos similares obtenidos en la literatura son detallados en este trabajo.

Clasificación:

**95.80.+p** Astronomical catalogs, atlases, sky surveys, databases, retrieval systems, archives, etc.

**95.85.Jq** Near infrared (0.75-3  $\mu\text{m}$ )

**98.65.Bv** Small and compact galaxy groups.

Palabras claves:

Grupos Compactos de Galaxias, Catálogos.



# Contents

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
1.1	Otros Catálogos . . . . .	5
1.2	Estudios sobre los Grupos Compactos . . . . .	7
1.2.1	Relación con el ambiente . . . . .	8
1.2.2	Estado dinámico . . . . .	8
1.2.3	Evolución . . . . .	9
1.2.4	Apariencia general y forma de las isofotas . . . . .	11
1.2.5	CGs en distintas bandas . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Identificación de Grupos Compactos en el catálogo 2MASS</b>	<b>17</b>
2.1	El catálogo base: Two Micron All Sky Survey(2MASS) . . . . .	18
2.2	Identificación en proyección de los Grupos Compactos . . . . .	21
2.3	Identificación cruzada de los <i>p2MCGs</i> con CGs de otros catálogos . . . . .	26
2.4	Filtrado en velocidad radial . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Propiedades de los Grupos Compactos en el catálogo 2MASS XSC</b>	<b>35</b>
3.1	CGs en proyección: la muestra <i>p2MCG</i> . . . . .	35
3.1.1	Comparación con catálogos fotométricos . . . . .	38
3.2	CGs filtrados en velocidad radial . . . . .	40
3.2.1	Correlaciones entre Propiedades de los CGs . . . . .	43
3.2.2	Comparación con catálogos con datos espectroscópicos . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Conclusiones y Perspectivas</b>	<b>51</b>
4.1	Trabajo Futuro . . . . .	53
<b>A</b>	<b>TABLAS ADICIONALES</b>	<b>55</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>63</b>







# Capítulo 1

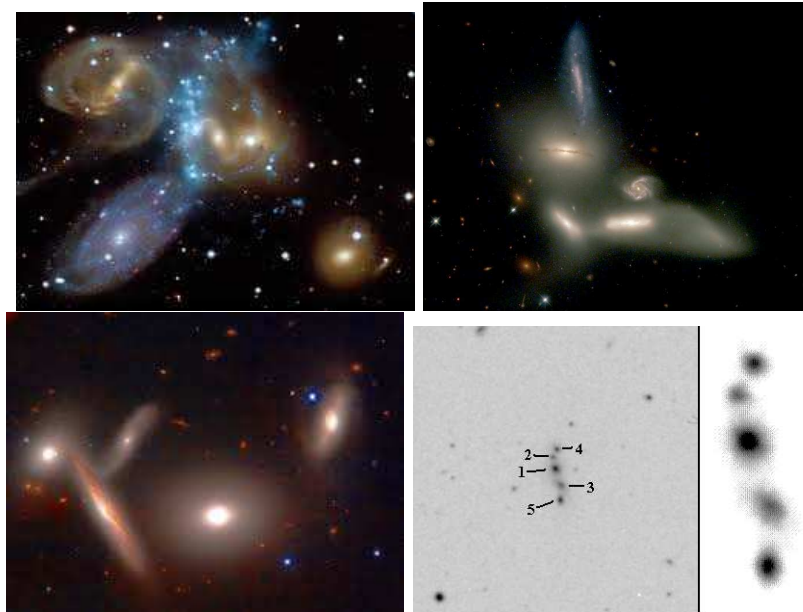
## Introducción

Los grupos de galaxias contienen cerca del 80 % de las galaxias en el Universo, más que otros subsistemas. Esto ha despertado el interés en estos sistemas como trazadores de la densidad media de la masa del Universo.

Entre los grupos que aparecen más compactos en proyección en el plano del cielo, los Grupos Compactos (de aquí en más CGs), parecen ser tan densos como los núcleos de los cúmulos ricos de galaxias. Los CGs pueden ser los sistemas de galaxias más densos aislados en el Universo, y entonces un lugar ideal para que se produzcan interacciones entre galaxias. En la figura 1.1 se muestran imágenes tomadas de la literatura de algunos grupos compactos.

Como su nombre lo sugiere, los CGs son sistemas pequeños que poseen unas pocas galaxias en una configuración muy compacta en el cielo. El primer ejemplo fue descubierto hace más de 130 años por Stephan (1877), quien lo identificó visualmente usando el telescopio refractor de 40 cm del Observatorio de Marseille. El quinteto de Stephan es un pequeño grupo de 5 galaxias, tres de las cuales muestran fuerte distorsión debido a la interacción gravitatoria. Un segundo ejemplo fue encontrado 71 años después por Seyfert (1948) a partir de un estudio de las placas Schmidt de Harvard. El sexteto de Seyfert es uno de los grupos más densos conocidos, el cual tiene una separación proyectada media entre galaxias de  $\sim 6,8 h^{-1}$  kpc.

En su momento, el Relevamiento del Cielo del Observatorio El Palomar (POSS, por sus siglas en inglés), proveyó una extensa fuente para una investigación sistemática de pequeños grupos de galaxias. Dos catálogos, el *Atlas de Galaxias Interactuantes* (Vorontsov-Velyamirnov 1959, 1975) y el *Atlas de Galaxias Peculiares* (Arp, 1966), con-



**Figura 1.1:** Imágenes de algunos CGs: quinteto de Stephan (*Panel superior izquierdo*), sexteto de Seyfert (*panel superior derecho*), HCG 40 (*panel inferior izquierdo*) y cadena de galaxias VV172 (*panel inferior derecho*)

tienen galaxias o grupos de galaxias basados en signos visibles de interacción o apariencia peculiar. Además del quinteto de Stephan y el sexteto de Seyfert, se incluyeron varios CGs, entre ellos una cadena de cinco galaxias (VV 172). Antes que estos, Shakhbazian y sus colaboradores examinaron alrededor de 200 placas fotográficas del POSS que abarcaban el 18% del cielo, y catalogaron 376 “Grupos Compactos de galaxias compactas” [Shakhbazyan & Petrosyan, 1974](#); [Baier et al., 1974](#); [Petrosian, 1974](#); [Baier & Tiersch, 1975](#); [Petrosyan, 1978](#); [Shakhbazian, 1996](#). Además de observaciones ocasionales, fotométricas o espectroscópicas (ej. [Mirzoyan et al., 1975](#); [Tiersch, 1976](#); [Massey, 1977](#); [Shakhbazyan & Amirkhanyan, 1978](#)), estos sistemas recibieron inicialmente muy poca atención. Sin embargo el interés en ellos fue aumentando.

Cuando se midieron los corrimientos al rojo (redshifts) de las galaxias de los primeros Grupos Compactos ([Burbidge & Burbidge, 1959, 1961](#)), se encontraron sorpresas. Tanto el Quinteto de Stephan como el Sexteto de Seyfert contenían una galaxia con redshift discordante. No parecía probable que con tal frecuencia se hallara una galaxia en proyección por delante o por detrás de sistemas tan compactos ([Burbidge & Burbidge, 1961](#)). Luego se descubrió otro ejemplo de redshift discordante en VV 172 ([Sargent, 1968](#)). Surgió entonces la siguiente pregunta: Son éstos, ejemplos de asociaciones entre objetos de redshifts diferentes, como fue declarado por [Arp & Madore \(1987\)](#) durante tantos años?



Aunque las galaxias discordantes fueran ignoradas, las dispersiones de velocidades de estos sistemas eran en general mayor que lo esperado de acuerdo con su masa visible (Burbidge & Burbidge, 1959, Burbidge & Sargent, 1971). También se argumentó que estos grupos eran sistemas no ligados (ej. Ambartsumian (1961)), Sin embargo, Limbert y Mathews (1960) mostraron que el teorema del virial podía ser satisfecho por el Quinteto de Stephan, dadas las incertezas en los factores de proyección, si las masas de las galaxias individuales eran considerablemente mayores que las de las galaxias aisladas. Las observaciones podían ser explicadas si la mayor parte de la masa estaba en una forma no visible. En retrospectiva, este hecho fue uno de los primeros indicadores de la existencia de materia oscura en sistemas galácticos.

Un nuevo problema surgió al darse cuenta de que los grupos ligados deberían volverse inestables al producirse decaimientos orbitales durante el proceso de virialización (Peebles, 1971). Un simple cálculo indicó que la escala de tiempo de la fricción dinámica en estos grupos era mucho menor que el tiempo de Hubble (Hickson, 1997a), lo cual fue pronto confirmado con simulaciones numéricas (Carnevali et al., 1981), lo que conducía a la fusión completa del grupo en tiempos relativamente cortos. Al mismo tiempo, se fue incrementando la evidencia de que las fusiones jugaban un rol importante en la evolución de muchas, sino de todas las galaxias del Universo.

Motivados por el deseo de obtener una muestra homogénea sobre la cual se pudieran realizar análisis estadísticos, Rose (1977), y luego Hickson (1982) construyeron los primeros catálogos de Grupos Compactos (para referir al catálogo de Hickson de aquí en más se usará: HCG), con criterios de selección específicos y cuantitativos. Posteriormente, detalladas investigaciones en diferentes longitudes de onda, produjeron una gran base de datos observacionales para el catálogo de Hickson (Hickson, 1997a).

## 1.1 Otros Catálogos

Como ya se mencionó Rose (1977) y Hickson (1982) fueron pioneros en la realización de catálogos de Grupos Compactos, mediante una inspección visual de las placas forográficas, POSS I, en la banda fotométrica  $R$ . Fue Hickson quien definió claramente los criterios para diferenciar este tipo de sistema de otros sistemas de galaxias. Los criterios de selección del catálogo de Hickson son:

- $N \geq 4$  (población)

- $\theta_N \geq 3\theta_G$  (aislación)
- $\mu_G < 26,0$  (compacticidad)

donde  $N$  es el número total de galaxias dentro un rango de 3 magnitudes de la galaxia más brillante del grupo,  $\mu_G$  es la magnitud total de esas galaxias por segundos de arco cuadrado promediado sobre el círculo mínimo (el diámetro angular  $\theta_G$ ) que contiene sus centros geométricos, y  $\theta_N$  es el diámetro angular del círculo máximo concéntrico que no contiene ninguna otra galaxia dentro de ese rango de magnitudes o más brillantes.

De esta manera Hickson logró identificar 100 Grupos Compactos en proyección, dando lugar al catálogo más utilizado para realizar estudios de diversos tipos, donde se analizaron distintas propiedades de los grupos compactos y de sus galaxias miembros, tales como las estructuras internas, morfologías, luminosidades, etc. (por ejemplo: [Mamon, 1986](#); [Hickson et al., 1988](#); [Hickson & Rood, 1988](#); [Mendes de Oliveira & Hickson, 1991](#); [Zepf, 1993](#)).

Luego de las identificaciones visuales de Rose y Hickson, los catálogos de Grupos Compactos se realizaron mediante algoritmos automáticos de detección:

1. A partir del CfA2 + SSRS2 (Redshift Survey Compact Group, RSCG) ([Barton et al., 1996](#)),
2. A partir de Las Campanas Redshift Survey ([Allam & Tucker, 2000](#)),
3. A partir del Catálogo de Galaxias de Sur (COSMOS/UKST) ([Prandoni et al., 1994](#); [Iovino, 2002](#)),
4. A partir del Updated Zwicky Catalog ([Focardi & Kelm, 2002](#)),
5. A partir de Sloan Digital Sky Survey (SDSS) fotométrico DR1 ([Lee et al., 2004](#))
6. A partir del catálogo DPOSS ([Iovino et al., 2003](#); [de Carvalho et al., 2005](#)),
7. A partir de Sloan Digital Sky Survey (SDSS) espectroscópico DR4 ([Deng et al., 2007](#)),
8. A partir del Sloan Digital Sky Survey (SDSS) fotométrico DR6 ([McConnachie et al., 2009](#)).

a los cuales podemos separarlos de acuerdo con dos criterios:

- según la base de datos utilizada para la identificación, o
- según el método utilizado para la identificación.

Dentro del primer criterio están los catálogos de Grupos Compactos identificados en proyección sobre muestras fotométricas ( 3, 5, 6, y 8), mientras que otros catálogos

fueron realizados utilizando además datos espectroscópicos, pudiendo así estimar si los sistemas están realmente ligados gravitatoriamente, o si son alineamientos aleatorios a lo largo de la línea de la visual ( 1, 2, 4, y 7). En el capítulo 3, se explicitará cuantos Grupos posee cada uno y se detallará información sobre propiedades generales de algunos de estos catálogos.

Con el segundo criterio se pueden distinguir los catálogos identificados visualmente (Rose (1977), Hickson (1982)), y los que fueron construidos mediante algún algoritmo automático de selección, dentro de estos últimos podemos volver a realizar una división tomando en cuenta esta vez, el tipo de algoritmo que se utilizó para la construcción de los catálogos. Por una parte están los catálogos realizados siguiendo una variante del método *Friends-of-Friends* (Davis, 1985) dentro de los cuales se hallan: 1, 5, y 8, mientras que el resto están basados en algoritmos que respetan estrictamente los criterios definidos por Hickson.

Estas diferencias entre los métodos utilizados para la identificación de CGs hacen complicado establecer semejanzas y diferencias entre los CGs identificados por distintos autores.

## 1.2 Estudios sobre los Grupos Compactos

En general se acepta que los redshifts discordantes hallados en varios Grupos Compactos son alineamientos por delante y por detrás de los CGs. Análisis estadísticos sugieren que es sorprendentemente grande la fracción de grupos que contienen redshifts discordantes (la mitad de todos los quintetos, ej. Iovino & Hickson, 1997), lo cual es consistente con los alineamientos aleatorios.

Sin embargo, la explicación más natural respecto de los Grupos Compactos es que de hecho son sistemas físicamente densos. Inclusive, la típica separación proyectada entre galaxias es sólo del orden de  $50h^{-1}$  kpc (Hickson, 1997a). Esta hipótesis está sostenida por una variedad de evidencia observacional (Hickson & Rood, 1988), como por ejemplo la alta fracción de interacciones que se infiere a través de la morfología y de la cinemática de las galaxias de los Grupos Compactos (Rubin, Hunter & Ford, 1991, Mendes de Oliveira & Hickson, 1994). Fuerte evidencia ha surgido también de la detección de rayos X difusos de una gran fracción de Grupos compactos (Ponman et al., 1996).

A continuación se nombrarán algunos de los estudios más relevantes llevados a cabo sobre catálogos de grupos compactos.

### 1.2.1 Relación con el ambiente

Si bien se puede decir que es alta la probabilidad de que la mayor parte de los Grupos Compactos sean sistemas ligados y densos, sin embargo, muchos de ellos parecen estar poco aislados lo que significaría que en general pueden ser trazadores de la distribución de galaxias que se hallan en asociaciones de baja densidad, filamentos y grupos difusos (Hickson, 1997a). El hecho de que algunos grupos compactos se encuentren en grupos ricos, se debe en parte al criterio de selección utilizado (ej. Hickson, 1982), pero la interacción dinámica de grupos pequeños durante el colapso del cúmulo, puede tener un rol importante. Sin embargo, hay numerosas diferencias importantes entre galaxias en Grupos Compactos y aquellas en otros ambientes. Por ejemplo, la fracción de elípticas es significativamente mayor en Grupos Compactos que en el campo y correlaciona con la dispersión de velocidad (Hickson et al., 1988).

Varios autores investigaron la formación de sistemas compactos por colapso gravitacional dentro de grupos poco densos (Diaferio et al., 1994). Éste parece ser un mecanismo plausible, aunque todavía se desconoce si las escalas de tiempo necesarias para llevar a cabo ese proceso son consistentes con las propiedades que se observan en los vecinos de los Grupos Compactos (Sulentic, 1997).

Si los Grupos Compactos se formaron a partir de grupos poco densos, entonces parecen haber perdido toda la memoria dinámica de sus grupos originales. Ni las formas y orientaciones de los grupos ni la orientación del eje de spin de las galaxias, correlaciona con la distribución u orientación de las galaxias de alrededor (Palumbo et al., 1993).

### 1.2.2 Estado dinámico

La dispersión de velocidad observada en Grupos Compactos se halla en un rango que va desde unas pocas decenas a varios cientos de  $\text{km s}^{-1}$ , con un valor medio del orden de  $200 \text{ km s}^{-1}$ . Cuando se combina esto con sus pequeños tamaños da como resultado tiempos de cruce que van desde  $10^{-3}$  a 1 tiempo de Hubble, la media está alrededor de  $0.02 H_0^{-1}$  (Hickson, 1997a). Las galaxias pierden energía cuando se mueven a través de un fondo de partículas de materia oscura de baja masa. La escala de tiempo de fricción resultante

depende de la cantidad y la distribución de la materia oscura, pero para grupos típicos es del orden de 10 veces el tiempo de cruce. Se esperaría que ocurran decaimientos orbitales y fusiones en estas escalas de tiempo, como se confirma en las simulaciones dinámicas las cuales indican que los grupos típicamente evolucionan a formar un sólo remanente masivo, parecido a una galaxia elíptica, en pocos tiempos de cruce (Barnes, 1989). Dado que es poco probable que la época actual sea especial, éste proceso ha continuado por lo menos del orden de un tiempo de Hubble, entonces se debería llegar a la conclusión de que la población de remanentes podría exceder la cantidad de Grupos Compactos por un orden de magnitud. Ya que los estimadores actuales ubican la densidad de luminosidad de los Grupos Compactos en el presente como un gran porcentaje de la luminosidad del universo, se supone que los remanentes de Grupos Compactos son una fracción importante de todas las galaxias. Mientras esto no parece en principio imposible, todavía no está claro que las propiedades de esos remanentes sean consistentes con aquellas galaxias elípticas, o de cualquier otra población identificable (Sulentic & Rabaca, 1994). Considerando las luminosidades, surge una dificultad debido a que la luminosidad total de los Grupos Compactos individuales excede la de las galaxias elípticas típicas por varias magnitudes (Mendes de Oliveira & Hickson, 1991).

El problema puede resolverse si es que los Grupos Compactos pueden sobrevivir un tiempo de Hubble o más. Algunos resultados numéricos indicaron que es posible que los grupos sobrevivan este tiempo bajo condiciones iniciales especiales (Governato et al., 1991) o que tengan halos de materia oscura muy masivos (Athanassoula et al., 1997). Alternativamente, los grupos pueden ser alimentados por acreción de nuevas galaxias. Governato et al. (1996) señalaron que en un universo de alta densidad ( $\Omega \simeq 1$ ), la caída (*infall*) de galaxias vecinas hacia los grupos puede rejuvenecer el sistema, prolongando su vida. Este cuadro razonable puede soportarse mediante observaciones. Moles et al. (1997) presentaron evidencia de un reciente *infall* hacia el Quinteto de Stephan.

### 1.2.3 Evolución

Es interesante explorar las consecuencias lógicas del *infall*, y ver si es posible obtener predicciones que se puedan corroborar. Suponiendo, por ejemplo, que los Grupos Compactos son el resultado de un continuo proceso de *infall*, interacciones y fusiones, y asumiendo que las galaxias que caen son ricas en gas, y que alguna fracción de las interacciones y las fusiones dejan como resultado galaxias elípticas y SO. En cada etapa del proceso se aplican los criterios de selección a los Grupos Compactos para definir los miembros del

grupo. Entonces los miembros de los grupos cambian con el tiempo (Hickson, 1997b), así como también las galaxias se fusionan, y galaxias nuevas se unen al grupo. El radio del grupo, permanece mas o menos constante, ya que es determinado en mayor medida por el criterio de selección más que por un tamaño intrínseco del grupo.

En este modelo simple, se encuentra para cualquier grupo individual, que los siguientes parámetros aumentan con el tiempo:

- La masa crece a medida que las galaxias caen en el grupo.
- La dispersión de velocidad se incrementa con la masa.
- La fracción de galaxias elípticas y lenticulares crece debido al efecto de interacciones y fusiones.
- La masa del halo crece a medida que se rompen los halos de las galaxias individuales.
- La masa de gas difuso crece debido al *stripping* del gas galáctico.
- La luminosidad en rayos X crece con la masa del gas.
- La temperatura en rayos X se incrementa con la dispersión de velocidad.

La tasa a la cual esto evoluciona depende del contraste de densidad inicial de las perturbaciones que dan lugar al grupo. Como al parecer hay un rango amplio de valores posibles, se espera encontrar grupos en varios estadios de evolución dinámica. Aquellos grupos con la mayor fracción de galaxias elípticas serían los más evolucionados.

De este escenario se pueden inferir las siguientes consecuencias observables:

- Las propiedades físicas no deberían correlacionar fuertemente con el radio del grupo.
- La fracción de espirales debería correlacionar inversamente con la dispersión de velocidad.
- La luminosidad y temperatura en rayos X debería correlacionar inversamente con la fracción de espirales.
- Se debería hallar un amplio rango de edades de poblaciones estelares dentro de las galaxias de los Grupos Compactos.
- Si cúmulos globulares y/o galaxias enanas se producen en interacciones y fusiones, la frecuencia específica de estos objetos debería correlacionar con la dispersión de velocidad de los grupos.

Comparando con los resultados observacionales, se halla que en efecto, los parámetros de los grupos compactos no correlacionan fuertemente con el radio. La relación densidad-morfología no existe o es muy débil, la dispersión de velocidad no correlaciona con el

radio, etc. En contraste, la fuerte correlación inversa entre la fracción de galaxias espirales y la dispersión de velocidad está bien explicada. Viendo los resultados de la emisión en rayos X, se observa que la baja emisión hallada en grupos ricos en galaxias espirales, puede ser el resultado de la fase de baja evolución de esos grupos. Una revisión de los datos realizada por [Hickson et al. \(1992\)](#) revela que la luminosidad de la galaxia elíptica más brillante correlaciona con la dispersión de velocidad, como fue predicho. Las últimas dos predicciones aún no han sido testeadas, pero pueden en principio ser determinadas en futuras observaciones ([Hickson, 1997a](#)).

#### 1.2.4 Apariencia general y forma de las isofotas

Los CGs poseen una gran fracción de galaxias de aspecto peculiar, aproximadamente el 30% según [Hickson et al. \(1989\)](#). Esto incluye galaxias con colas, estructuras filamentosarias, isofotas asimétricas, y combas. Aunque no se ha realizado una comparación cuidadosa con la población de galaxias de campo, está claro que la frecuencia de galaxias distorsionadas es mayor en Grupos Compactos. Zepf (1991) estimó que la frecuencia de cierto tipo de peculiaridad, colas tidales, es de aproximadamente el 7%.

Una aproximación más cuantitativa es considerar las desviaciones de elipses perfectas, usando técnicas en las cuales Carter (1978) fue pionero. Él encontró que hay menos elípticas con isofotas simétricas y más con irregulares en CGs. El número de elípticas *disky* es normal. El número de elípticas *boxy* es significativamente menor que en el campo, lo cual es sorprendente dado que hay evidencia de que las elípticas *boxy* pueden ser causadas por fusiones ([Binney & Petrou, 1985](#), [Whitmore & Bell, 1988](#), [Bender, 1990](#)). La deficiencia de elípticas *boxy* puede indicar que le lleva más tiempo al *box* establecese que el tiempo de vida del grupo, o simplemente puede indicar que las fusiones no resultan necesariamente en isofotas de tipo *boxy* ([Díaz-Giménez et al., 2008](#)).

Si las fusiones son comunes en los grupos, y producen galaxias elípticas, se debería esperar que los grupos compactos tengan un porcentaje mayor de galaxias elípticas que las que se encuentran el campo. Mientras que esto parece ser cierto, el aumento es pequeño. [Hickson et al. \(1988\)](#) hallaron que el 22% de las galaxias en Grupos Compactos son elípticas. Este valor para el campo, grupos difusos, o las regiones exteriores de los cúmulos es del orden del 10% (ej. [Dressler, 1980](#); [Postman & Geller, 1984](#)). .

[Zepf & Whitmore \(1991\)](#) señalaron que mientras que el crecimiento de galaxias elípticas parecía ser poco común, y que se espera que las fusiones sean frecuentes en Grupos

Compactos, por otro lado, si los tiempos de vida de los CGs son relativamente cortos, objetos que se han fusionado recientemente no tendrían tiempo suficiente para llegar a tener un aspecto normal de galaxia elíptica antes de que el grupo colapse.

Además, algunas de las elípticas originales se fusionarían por lo cual temporalmente no estarían dentro de la fracción de elípticas. Estos resultados indican que la fracción de elípticas por sí misma puede no ser una buena herramienta para saber el valor de fusiones en cúmulos y que es necesario además analizar la correlación con el número de galaxias distorsionadas. Por otro lado, [Hickson et al. \(1992\)](#) encontraron que el 75 % de las galaxias en compactos muestran signos de interacción.

### 1.2.5 CGs en distintas bandas

Como ya se mencionó, el estudio de los grupos compactos de Hickson ha sido a lo largo de los años exhaustivo. Si bien muchos de los autores plantean controversias respecto de la veracidad de estos grupos, o de la homogeneidad de la muestra, en la literatura pueden encontrarse innumerables análisis de estos sistemas, incluyendo estudios focalizados en bandas del espectro electromagnético fuera del rango óptico. En general, estos estudios se llevaron a cabo sobre grupos compactos individuales o sobre submuestras reducidas del catálogo de Hickson. A continuación se enumerarán brevemente algunos de los principales resultados encontrados a partir de tales análisis.

#### Infrarrojo y Ultravioleta:

La radiación infrarroja de las galaxias puede tener distintos orígenes. En galaxias espirales, la radiación infrarroja es producida por la formación de nuevas estrellas que agitan el gas y las nubes de polvo que las rodean ([Becklin, 1987](#)). Por lo tanto, la información en infrarrojo da cuenta de la distribución y tasa de formación de estrellas en tales galaxias. Las galaxias activas, por otro lado, contienen una componente nuclear no-térmica la cual es también una fuerte fuente de radiación infrarroja. Comparando los datos en infrarrojo con los datos ópticos se puede estudiar la naturaleza y alcance de esta actividad. Fuentes extremadamente luminosas en el infrarrojo lejano pueden ser producidas por colisiones de nubes moleculares en galaxias interactuantes ([Harwit et al., 1987](#)). Colisiones o interacciones tidales entre galaxias pueden disparar la formación de estrellas por compresión del gas de las galaxias, y, así mismo, pueden despertar la actividad nuclear. Es por esto que se espera que las galaxias interactuantes o con compañeras muy cercanas tengan alta probabilidad de ser emisoras en infrarrojo. El



entorno de una galaxia es entonces un factor muy importante en el desarrollo de la emisión infrarroja de las galaxias.

Teniendo en cuenta todos estos razonamientos, los grupos compactos parecen ser el entorno ideal para encontrar esta clase de emisión. [Hickson et al. \(1989\)](#) analizaron 54 galaxias en HCGs observadas por IRAS, y encontraron que alrededor de 1/4 de las galaxias espirales en los HCGs tienen emisión infrarroja detectable y que los cocientes luminosidad infrarroja sobre luminosidad total eran significativamente mayores que los que se encuentran en galaxias aisladas o galaxias en cúmulos, favoreciendo el escenario de interacciones frecuentes en CGs, como así también indicando la presencia de grandes cantidades de polvo en el medio intragrupo.

Sin embargo, [Sulentic & de Mello Rabaca \(1993\)](#) argumentaron que la emisión en infrarrojo detectada por [Hickson et al. \(1989\)](#) podría estar sobre-estimada debido a la resolución del relevamiento IRAS, concluyendo que la emisión en infrarrojo de las galaxias en CGs debida a interacciones no era mayor que la de las galaxias en cualquier otro medio, por lo que el escenario de fusiones aceptado para los CGs podría no ser cierto. Este mismo resultado fue apoyado también por [Venugopal \(1995\)](#); [Kelm et al. \(2003\)](#); [Bitsakis et al. \(2010\)](#). Si bien no se corroboró la inusual emisión en infrarrojo debido a interacciones originalmente encontrada, un resultado interesante que se desprende de los últimos estudios es que la distribución de colores de las galaxias en las bandas infrarrojas presenta una bimodalidad, que podría deberse a un efecto evolutivo o de diferente edad de los grupos compactos a los que pertenecen. Este resultado vuelve a darle al entorno un papel importante en la evolución de estas galaxias ([Tzanavaris et al., 2010a,b](#)).

## Rayos X

La emisión en rayos X está íntimamente relacionada con un potencial gravitacional. Tal emisión en sistemas de galaxias es una manera de verificación de que el sistema está gravitacionalmente ligado, implicando la presencia de gas caliente intra-grupo consecuencia de la ocurrencia de interacciones entre las galaxias del sistema que calientan el gas. [Bahcall et al. \(1984\)](#) encontró emisión en rayos X en 3 de los 4 HCGs analizados, y posteriormente, [Ponman et al. \(1996\)](#) encontró que el 75 % de los 22 HCGs que estudiaron presentaban emisión X, presentando este resultado como una fuerte evidencia de la verdadera configuración compacta de estos sistemas en un momento en el que la hipótesis de los alineamientos aleatorios había conseguido muchos adeptos. [Rasmussen et al. \(2008\)](#) utilizaron datos de Chandra y XMM-Newton para analizar la fuente de emisión en rayos X de 8 HCGs, encontrando emisión X sólo en 4 de ellos.

Otro aspecto importante que surgió de los análisis en rayos X, es que los CGs que presentan emisión X tienen propiedades en esta banda (temperatura, masa, etc) que abarcan rangos muy amplios. Recientemente, [Broming & Fuse \(2010\)](#) propusieron un modelo para establecer la evolución de los grupos compactos que se basa en el número de fuentes puntuales emisoras en X: a mayor número de fuentes puntuales, más evolucionado es el CG. Estos autores lograron dividir la muestra de 16 HCGs en tres categorías de acuerdo con su estado evolutivo, ubicando al quinteto de Stephan como el arquetipo de grupo compacto muy evolucionado y HCG97 como ejemplo de grupo compacto con evolución intermedia. Así, grupos en distinto estado evolutivo contribuyen a distintos rangos en las propiedades X observadas.

### Radio

Se ha observado que de la interacción violenta de galaxias y en pares próximos, las galaxias muestran colores ópticos más azules ([Larson & Tinsley, 1978](#)), fuerte emisión en infrarrojo ([Xu & Sulentic, 1991](#); [Surace et al., 1993](#)) y un aumento en el espectro continuo en Radio ([Hummel, 1981](#); [Hummel et al., 1990](#)) respecto de las galaxias de campo. Sin embargo, [Menon \(1995\)](#) encontró que la radiación en radio de las galaxias espirales de los grupos compactos es significativamente más baja que en galaxias espirales aisladas.

Además, se piensa que el gas molecular es el ingrediente principal en la formación de estrellas, y por lo tanto de crítica importancia para entender la actividad de formación estelar en galaxias. A partir del estudio de las líneas de emisión del CO, se encontró que los pares o sistemas que interactúan tidalmente muestran excesos en el contenido de gas molecular, producido tal vez por inflow de gas frío desde reservorios internos o externos. En este sentido, ([Verdes-Montenegro et al., 1998](#)) encontraron que la mayoría de las galaxias espirales en HCGs (80 %) tienen niveles normales de emisión de CO, mientras que el 20 % restante muestra deficiencia en la emisión de CO.

La deficiencia de HI en grupos compactos fue largamente corroborada ([Verdes-Montenegro et al., 2001](#); [Stevens et al., 2004](#); [Verdes-Montenegro et al., 2007](#); [Pompei et al., 2007](#); [Borthakur et al., 2006](#); [Rasmussen et al., 2009](#); [Borthakur et al., 2010](#); [Martinez-Badenes et al., 2010](#)). Estos estudios, conjuntamente con la baja tasa de formación estelar han conducido a distintos modelos en los que se conjugan las interacciones con la anemia de HI y la baja formación estelar. En el modelo más aceptado, de acuerdo con [Verdes-Montenegro et al. \(2007\)](#), la cantidad de HI decrece a medida que los grupos evolucionan debido a que es calentado por las frecuentes interacciones que

suceden en ambientes tan densos como los de los grupos compactos, esa pérdida de HI puede también inhibir la formación estelar.

En general, para explicar los resultados encontrados en las distintas bandas a partir de distintas submuestras reducidas de grupos compactos, se ha recurrido a una secuencia evolutiva entre los mismos. Sin embargo, si se considera que la mayoría de estos estudios se basan en conjuntos disjuntos de  $\sim 20$  HCGs, surge el interrogante de si una muestra estadísticamente significativa de grupos compactos puede todavía arrojar los mismos resultados.

Por otro lado, [Díaz-Giménez & Mamon \(2010\)](#) han demostrado que la identificación visual llevada a cabo por Hickson produjo una muestra que es incompleta, inhomogénea e irreproducible. Estos autores plantean que muchas de las controversias que se encuentran en la literatura cuando se estudian grupos individuales de Hickson sean en gran parte producto de la inhomogeneidad de la identificación visual de los grupos compactos analizados.

El objetivo de este trabajo es obtener una nueva muestra de CGs seleccionados automáticamente a partir del Two Micron All Sky Survey ([Skrutskie et al., 2006](#)) que sea homogénea y estadísticamente confiable.



## Capítulo 2

# Identificación de Grupos Compactos en el catálogo 2MASS

La mayoría de los trabajos realizados sobre CGs están basados en el catálogo de Hickson, o en parte del mismo, y dado que éste es inhomogéneo, incompleto e irreproducible, debido a que posee vicios ya que fue realizado mediante una inspección visual resulta necesario contar con una muestra de CGs que sea estadísticamente confiable para poder realizar estudios sobre propiedades de los mismos que ayuden a aclarar diversos aspectos que todavía no se han logrado descifrar. Es por esto que, como ya se mencionó en la introducción, en este capítulo se describirá la construcción de una nueva muestra de CGs seleccionados de forma automática a partir del catálogo fotométrico Two Micron All Sky Survey ([Skrutskie et al. \(2006\)](#)) (de aquí en más: 2MASS) que es un relevamiento uniforme de todo el cielo de fuentes relativamente cercanas. En particular, se utilizará como base el catálogo de fuentes extendidas del 2MASS: XSC ([Jarrett et al. \(2000\)](#)).

En primer lugar, en la sección [2.1](#) se describirán las características del 2MASS, luego, en la sección [2.2](#) se explicarán los criterios de identificación de CGs, como así también una breve descripción del algoritmo de identificación de los Grupos Compactos en proyección. En la sección [2.3](#) se realizará la identificación cruzada de las muestras obtenidas con otras muestras de CGs ya existentes. Finalmente en la sección [2.4](#) se presentará una muestra de CGs filtrada en velocidad radial.

## 2.1 El catálogo base: Two Micron All Sky Survey (2MASS)

El proyecto 2MASS ([Skrutskie et al. \(2006\)](#)) fue diseñado por la Universidad de Massachusetts, con la intención de incrementar el conocimiento del cielo en la región del espectro correspondiente al infrarrojo cercano. Las observaciones de este proyecto comenzaron en el año 1997 y se completaron en el año 2001, mientras que la fecha de lanzamiento del 2MASS, luego del procesamiento de los datos, fue en 2003.

El 2MASS es un relevamiento fotométrico uniforme de todo el cielo en tres bandas del infrarrojo cercano recorriendo los 2 micrómetros. En este catálogo se detectan y caracterizan fuentes puntuales más brillantes que 1 mJy en cada banda con un cociente señal/ruido mayor que 10. Las bandas fotométricas se hallan centradas en las siguientes longitudes de onda:

- $J$  (1,25 micrones)
- $H$  (1,65 micrones)
- $K_s$  (2,17 micrones).

Este relevamiento representa una mejora de 80 mil veces en relación a la sensibilidad de relevamientos anteriores, por lo cual la calidad de las imágenes son mejores que en relevamientos de menor sensibilidad.

Para realizar 2MASS se utilizaron dos telescopios de 1,3mts, altamente automatizados colocados uno en el hemisferio norte, en Mt. Hopkins, Arizona, y el otro en el hemisferio sur, en Cerro Tololo/CTIO, Chile. Cada telescopio se equipó con una cámara de tres canales que consiste en un arreglo NICMOS3  $256 \times 256$  HgCdTe, capaz de tomar imágenes de un campo de  $8,5' \times 8,5'$ . Es importante resaltar que la cámara utilizada para realizar el relevamiento toma imágenes en las tres bandas fotométricas al mismo tiempo, lo cual asegura que para cada objeto, las imágenes obtenidas en las distintas longitudes de ondas fueron tomadas bajo las mismas condiciones de observación.

Los objetivos principales del relevamiento fueron:

- Brindar una visión sin precedentes de la Vía Lácta, libre de los efectos de oscurecimiento por polvo interestelar, lo cual revelará la verdadera distribución de masa

luminosa, como así también las grandes estructuras, en toda la extensión de la Galaxia.

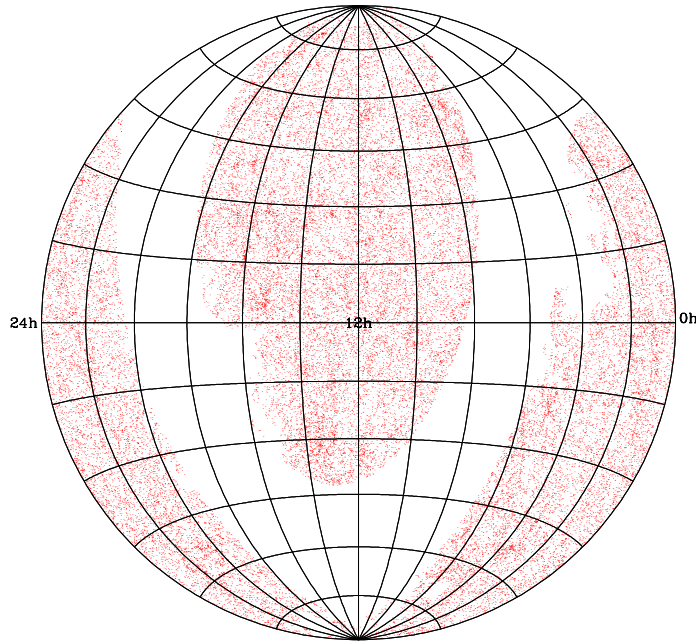
- Realizar el primer censo fotométrico en todo el cielo para galaxias más brillantes que  $K_s = 13,5\text{mag}$ , incluyendo galaxias de regiones donde el polvo de la Vía Láctea ocasiona que los relevamientos ópticos de galaxias sean incompletos. El catálogo, de más de 1 millón de galaxias, provee una base de datos muy rica para realizar estudios estadísticos, incluyendo mediciones fotométricas en tres longitudes de onda y algunos parámetros estructurales de grandes muestras de galaxias en diferentes entornos, medidos en longitudes de onda que son sensibles a las poblaciones estelares que dominan la masa luminosa.
- Obtener una base estadística para la búsqueda de objetos raros pero astrofísicamente importantes, los cuales son fríos, y por lo tanto extremadamente rojos (por ejemplo: estrellas de luminosidad extremadamente baja y enanas marrones), u objetos muy oscurecidos para longitudes de onda ópticas (como AGNs oscurecidos por polvo y cúmulos globulares ubicados en el Plano Galáctico).

La producción de datos de 2MASS para todo el cielo fue de gran relevancia, se obtuvieron diversos catálogos y atlas para una gran variedad de objetos celestes, como por ejemplo:

- *Un atlas digital del cielo* que posee aproximadamente 4 millones de imágenes de  $8' \times 16'$ , las cuales tienen alrededor de  $4''$  de resolución espacial en cada una de las tres longitudes de onda.
- *Un catálogo de fuentes puntuales*, el cual cuenta con posiciones medidas con gran precisión, y flujos de aproximadamente 300 millones de estrellas y otros objetos no resueltos.
- *Un catálogo de fuentes extendidas* que contiene posiciones y magnitudes totales para más de 1,5 millones de galaxias y nebulosas.

En este trabajo, los datos utilizados como fuente para la identificación de CGs fueron seleccionados a partir del catálogo público de fuentes extendidas del 2MASS XSC (Jarrett et al. (2000)), el cual contiene alrededor de 1,6 millones de objetos extensos más brillantes que  $K_s = 14,3\text{mag}$ . Dado que existe una fuerte correlación entre la extinción debida al polvo, la cual crece de forma exponencial a medida que se buscan fuentes cerca del plano galáctico y que, por otro lado, la densidad estelar es también un fuerte factor contaminante del XSC, es de gran importancia que la separación de objetos extensos de los que no lo son sea realizada eficazmente ya que de ello depende la confiabilidad de los datos obtenidos a partir de este catálogo (Jarrett et al. (2000)). Para evitar la contami-

nación de estrellas siguiendo [Díaz-Giménez et al. \(2011\)](#), se construyó una máscara para el 2MASS utilizando el mapa HEALPix ([Górski et al. \(2005\)](#)) con  $N_{side} = 256$  y se excluyeron aquellos pixeles donde la extinción en la banda  $K_s$ ,  $A(K_s) = 0,367 \times E(B - V)$ , fuera mayor que 0,05 y donde la latitud galáctica  $b$  fuera  $|b| < 20$ . Esto reduce las fuentes contaminantes al 2% ([Maller et al. \(2005\)](#)). Las magnitudes fueron corregidas por extinción galáctica usando los mapas de enrojecimiento por polvo de [Schlegel et al. \(1998\)](#). Además, siguiendo [Maller et al. \(2005\)](#), se impuso un corte en la magnitud corregida  $K_s$  de 13,57 mag, debido a que 2MASS utiliza magnitud de Kron (1980) para obtener el flujo total de cada galaxia. Debido a que los tiempos de exposición de 2MASS son cortos (7,8 s con un telescopio de 1,3 m ([Skrutskie et al., 2006](#))), las magnitudes de Kron subestiman sistemáticamente el flujo total real, en aproximadamente 0,1 mag ([Bell et al. 2003](#)). Para un límite en magnitud un poco menor que el requerimiento científico de 2MASS,  $K_s \sim 13,57$ , la completitud del XSC sigue siendo buena.



**Figura 2.1:** Distribución de fuentes del XSC luego de haber quitado las regiones contaminadas por polvo y estrellas de la Vía Láctea y el plano galáctico.

Las correcciones anteriores se realizaron para obtener un catálogo base libre de contaminaciones, lo cual redujo las fuentes de 1,6 millones a 408,618, que son las que finalmente



constituyen el catálogo base, y sobre el cual se aplicó un identificador de CGs.

Las regiones del cielo donde se realizó la búsqueda de CGs es la que se muestra en la figura 2.1. Esta figura es una proyección de Aitoff (David Aitoff (1889)) comunmente utilizada para graficar las posiciones de los objetos distribuidos en la esfera celeste. En este gráfico los paralelos se corresponden con la declinación de los objetos medida en grados ( $\Delta\delta = 15^\circ$ ), mientras que los meridianos se corresponden con la ascensión recta medida en horas ( $\Delta\alpha = 2\text{hs}$ ). Los puntos rojos representan cada una de las 408,618 fuentes extendidas, y puede verse claramente una región del grafico vacía. Esta zona corresponde al corte en latitud galáctica antes mencionado, superpuesto con los pixeles donde la extinción por polvo supera el valor límite adoptado.

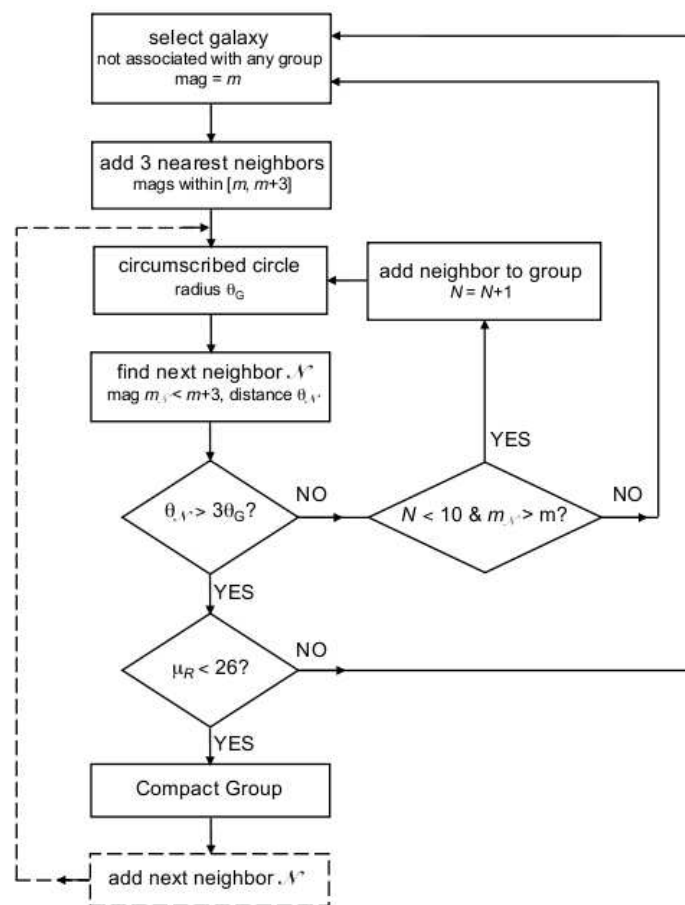
## 2.2 Identificación en proyección de los Grupos Compactos

Para la identificación en proyección de los CGs en el 2MASS se utilizó un algoritmo automático de búsqueda desarrollado por [Díaz-Giménez & Mamon \(2010\)](#). Este algoritmo sigue los lineamientos de [Hickson \(1982\)](#) detallados en la Intriducción y agrega una cuarta condición, para evitar viciar las muestras, debido a que el catálogo fuente posee una magnitud aparente límite. Los criterios para la identificación automática de los CGs en proyección son:

- $4 \leq N \leq 10$  (población)
- $\mu_K \leq 24 \text{ mag arcsec}^{-2}$  (compacticidad)
- $\theta_N > 3\theta_G$  (aislación)
- $K_{bri} \leq 10,57 \text{ mag}$  (límite en flujo)

$N$  es el número total de galaxias cuya magnitud  $K$  satisface  $K < K_{bri} + 3$ , y  $K_{bri}$  es la magnitud de la galaxia más brillante del grupo,  $\mu_K$  es el brillo superficial medio en la banda K, promediado sobre el área circular cuyo radio mínimo circumscribe el centro de las galaxias,  $\theta_G$  es el diámetro angular del círculo mínimo, y  $\theta_N$  es el diámetro angular del círculo concéntrico que no contiene galaxias dentro del rango  $[K_{bri}, K_{bri} + 3]$  o más brillantes.

Lo que realiza básicamente el algoritmo de identificación de CGs utilizado se puede describir de la siguiente manera: toma una galaxia, busca sus 3 vecinas más cercanas en distancias angulares dentro de un rango de tres magnitudes, calcula el centro y el radio del grupo, y luego busca la siguiente galaxia en el mismo rango o más brillante. Si esa siguiente galaxia está dentro del rango de magnitudes y a menos de 3 veces el radio angular del grupo, entonces se incorpora como nuevo miembro del grupo y se itera el calculo de centro, radio y brillo superficial. Si es más brillante que los miembros del



**Figura 2.2:** Diagrama de flujo del algoritmo usado en [Díaz-Giménez & Mamon \(2010\)](#) para la identificación de CGs en proyección, y utilizado en este trabajo.

La Figura 2.2 se extrajo de Díaz-Giménez & Mamon (2010), allí se muestra un diagrama de flujo que explica el funcionamiento del algoritmo que se utilizó sobre el catálogo fuente para hallar CGs en proyección. Los parámetros que se encuentran en la figura son los mismos que los que se utilizaron en éste trabajo, excepto el límite en brillo superficial que fue modificado para su aplicación en la banda  $K$ . El cuarto criterio de identificación es incluido a posteriori.

Al utilizar una gran base de datos, la identificación puede consumir tiempos computacionales muy largos, lo cual hace indispensable agilizar los procesos utilizados en el identificador, es por eso que el algoritmo adoptado hace uso de las subrutinas del paquete HEALPix<sup>1</sup>, para hallar vecinos dentro de 5 grados alrededor de cada galaxia, y las subrutinas STRIPACK<sup>2</sup> para calcular los centros y radios de los círculos mínimos que encierran los centros de las galaxias en los grupos.

La aplicación de este algoritmo de identificación sobre las galaxias del XSC de 2MASS produjo una muestra de 329 CGs en proyección, (de ahora en más llamados  $p2MCGs$ , por las siglas en inglés: projected 2MASS Compact Groups). Un hecho curioso que se observa en los CGs identificados, es que el 3,4% de los mismos que poseen  $N > 4$  contienen en su núcleo un cuarteto compacto que también cumple los criterios de identificación de CGs utilizados para la construcción del catálogo. Es importante notar que esto es un porcentaje menor que el (6 – 13)% predicho por Díaz-Giménez & Mamon (2010) para los modelos semianalíticos estudiados en ese trabajo.

En la figura 2.3, las áreas en cada imagen son 1,5 veces el diámetro angular de los grupos mostrados en cada una. Los  $p2MCGs$  que se muestran a modo de ejemplo en las imágenes, no han sido identificados anteriormente por otros autores, es decir que serán un aporte completamente novedoso a las bases de datos de CGs. Las imágenes de los Grupos Compactos que se encuentran en la Figura 2.3 fueron buscadas en la página oficial de SDSS, utilizando la herramienta finding chart<sup>3</sup>. Esta aplicación construye un mosaico superponiendo campos muestreados por SDSS en distintas bandas, construyendo imágenes con colores integrados.

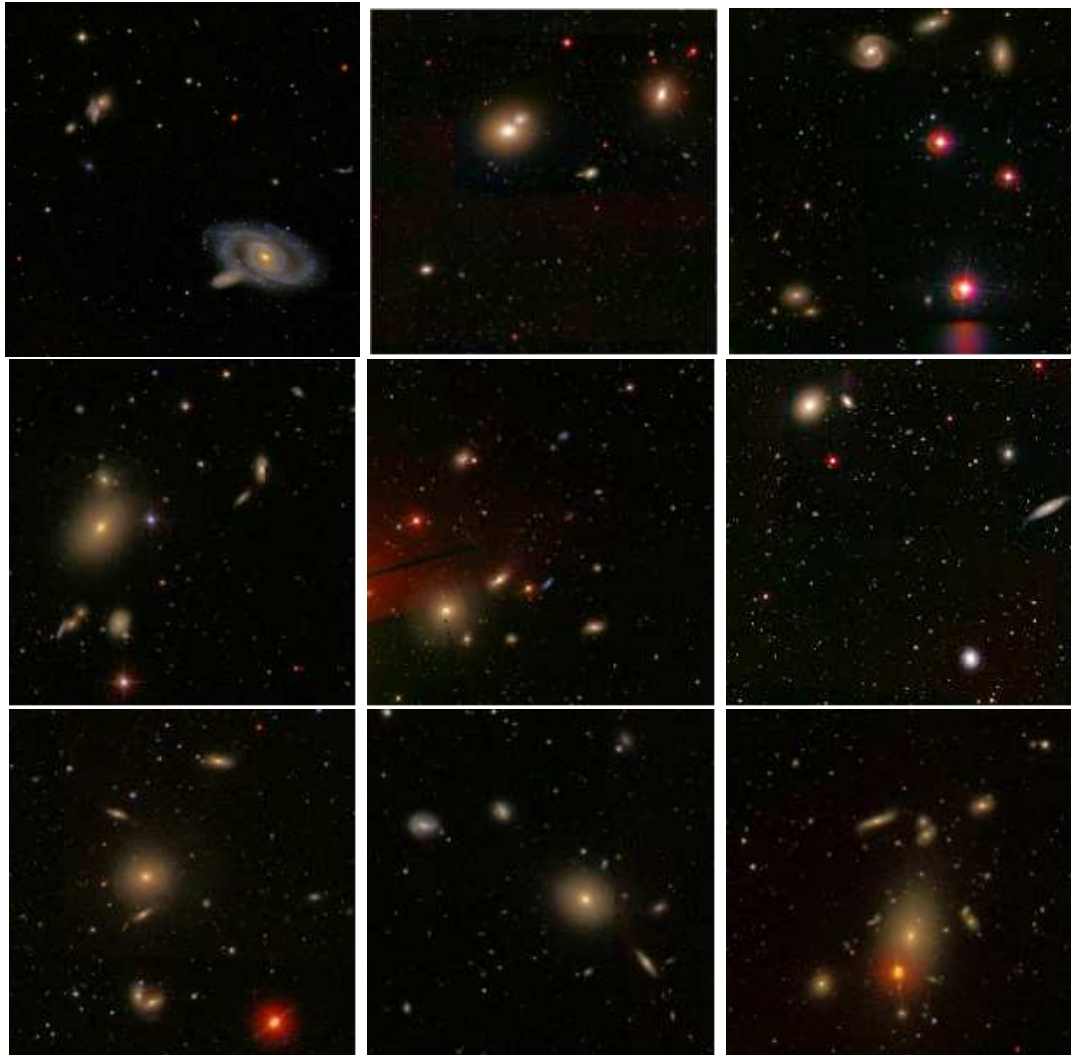
Al trabajar sobre muestras observacionales existen limitaciones inherentes a los procesos de observación y/o de reducción de los datos. Es por esto que se han tratado con sumo cuidado los resultados obtenidos y fue necesario verificar minuciosamente que los datos sean confiables para no producir, en este caso, una muestra de CGs viciada por

---

<sup>1</sup><http://healpix.jpl.nasa.gov>

<sup>2</sup>[http://people.sc.fsu.edu/burkardt/f\\_src/stripack/stripack.html](http://people.sc.fsu.edu/burkardt/f_src/stripack/stripack.html)

<sup>3</sup><http://cas.sdss.org/dr7/en/tools/chart/chart.asp>



**Figura 2.3:** Algunos ejemplos de  $p2MCGs$  que caen dentro del área de SDSS. Ninguno de ellos ha sido anteriormente catalogados. De acuerdo con la notación de la tabla del Apéndice, ellos son ( de izquierda a derecha y de arriba a abajo): 10, 67, 173, 175, 234, 246, 254, 290, 295.

efectos de utilización de los algoritmos de identificación utilizados para la realización del catálogo fuente. Dado que el XSC, es un catálogo de fuentes extendidas (Extended Source Catalog) y no de galaxias solamente, se realizó un exhaustivo trabajo de inspección visual para verificar que las galaxias pertenecientes a los 329 *p2MCGs* hubieran sido correctamente clasificadas en el catálogo fuente. Para ello se utilizaron diversas herramientas como por ejemplo: las facilidades del Atlas del Cielo, Aladin (Bonnarel et al., 2000) y el servidor de imágenes interactivo del 2MASS<sup>4</sup>. Gracias a la inspección visual, se encontró que varias de las galaxias estaban mal identificadas o clasificadas, por lo cual los grupos a los que pertenecían esas galaxias debieron ser revisados para asegurar que siguieran siendo CGs según los criterios establecidos, ya que la eliminación de dichas galaxias podría provocar que algunos de los *p2MCGs* dejaran de cumplir uno o más de los criterios de identificación de los CGs. Entonces, se verificó nuevamente que en principio los grupos mantuvieran al menos 4 miembros, y en ese caso que siguieran cumpliendo con el resto de los criterios. Los grupos que dejaron de cumplir con al menos uno de ellos fueron desechados de la muestra. Como resultado de este procedimiento, se descartaron 34 CGs. En la Figura 2.4 se muestran algunos ejemplos de objetos mal clasificados en el 2MASS XSC, las mismas se obtuvieron del servidor de imágenes interactivo del 2MASS, y fueron tomadas en la banda fotométrica  $K_s$ . Las malas identificaciones que se encontraron en los *p2MCGs* se pueden describir como:

- Identificación de una sola galaxia donde hay dos en proceso de fusión o muy cercanas angularmente
- Identificación de dos galaxias donde sólo hay una.

Para el primer caso podemos nombrar el ejemplo de la galaxia NGC4893A que no pertenece a 2MASS, mientras que su compañera-par NGC4893B sí pertenece. Las siguientes galaxias también sufren de la mala identificación descrita en el primer ítem: IC 1165 NED02, NGC 7318A, NGC 7318B, NGC 4783, NGC 3750, IC0590-NED02, ESO596-49, LCRSB210329.4-450104, NCG 7578A, NGC0414-NED02, ESO 284-IG 041 NED02.

El *panel superior derecho* de la Figura 2.4 es un ejemplo del primer ítem, allí se observa que 2MASS XSC identifica un objeto en medio de los núcleos de dos galaxias (*círculo rosa*), mientras que ninguna de las dos galaxias pertenecen a 2MASS, este ejemplo en particular corresponde al par NGC 7318A/NGC 7318B que se encuentra en el quinteto de Stephan (Stephan, 1877). Se decidió descartar aquellos CGs que tuvieran

<sup>4</sup><http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/2MASS/IM/interactive.html>

algunos de sus miembros con este problema. Por este motivo, 11 grupos del  $p2MCG$  debieron ser eliminados.

El segundo ítem se refiere a casos en donde partes de una galaxia (por ejemplo, brazos espirales o regiones HII), fueron clasificadas como una nueva galaxia. Las galaxias que fueron descartadas por este motivo se enumeran en la tabla 2.1, en cuya segunda columna se detallan los nombres asignados a las mismas por el catálogo 2MASS. Algunos ejemplos se observan en el *panel superior derecho* y los *paneles inferiores izquierdos* de la Figura 2.4. En los mismos, los *círculos rosados* muestran la posición que asigna el catálogo fuente a objetos que son en realidad parte de otras galaxias. Por este motivo, se descartaron 23  $p2MCGs$ .

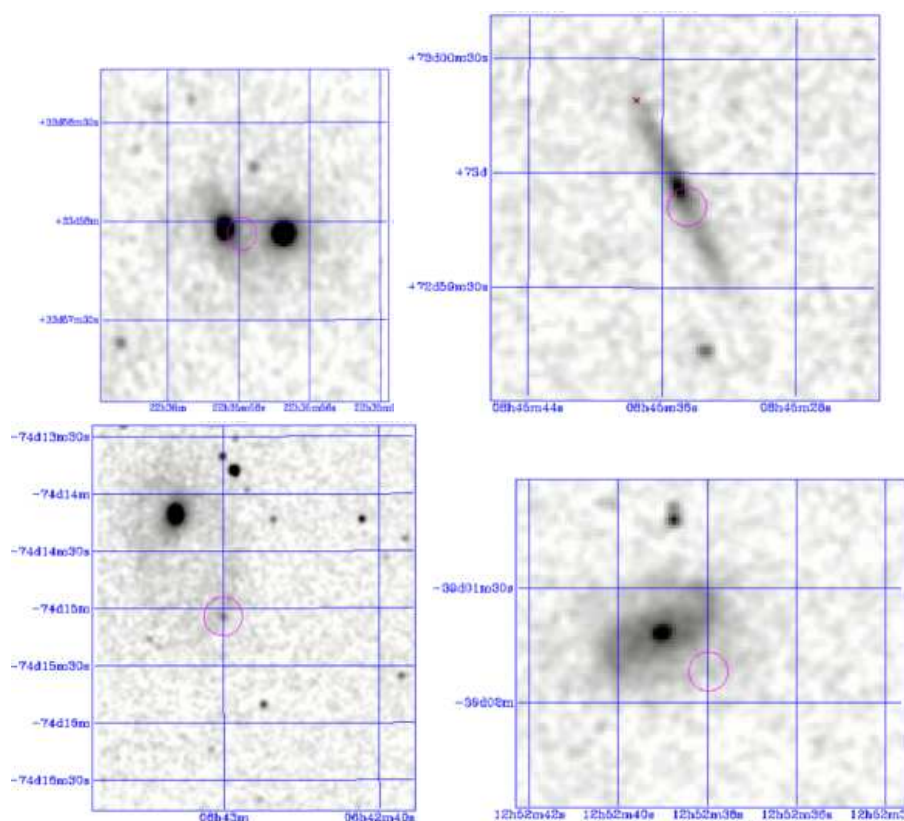
En resumen, debido a las malas identificaciones en el 2MASS XSC es que la muestra inicial de los  $p2MCGs$  se redujo de 329 a 295 CGs.

Al limpiar la muestra de CGs en proyección de grupos con galaxias mal identificadas en el catálogo base, el catálogo de CGs se torna incompleto, ya que algunos de los grupos desechados podrían llegar a ser CGs reales, como es el caso del famoso quinteto de Stephan. Sin embargo, se decidió eliminar algunos CGs de la muestra evitando contaminar a la misma de grupos con galaxias mal clasificadas. De esta manera se puede asegurar la homogeneidad del catálogo de CGs presentado en este trabajo en detrimento de la completitud.

## 2.3 Identificación cruzada de los $p2MCGs$ con CGs de otros catálogos

Dado que existen varios catálogos de CGs en la literatura (como los citados en el capítulo 1), es interesante cuantificar el aporte de este trabajo en cuanto a nuevos CGs. Para ello, en este trabajo se realizó una correlación cruzada entre el catálogo de los  $p2MCGs$  y las otras muestras disponibles públicamente, poniendo especial énfasis en la comparación con la muestra de los HCGs, dado que éste es el catálogo sobre el cual se puede hallar la mayor cantidad de trabajos realizados sobre CGs hasta la actualidad en la literatura disponible.

Para poder realizar la correlación cruzada con los HCGs, se comparó la muestra de los  $p2MCGs$  con la muestra original de Hickson (Hickson, 1982). Se comenzó buscando



**Figura 2.4:** Imágenes en la banda  $K_s$  tomadas del Servidor de Imágenes Interactivo del 2MASS. Se observan algunos ejemplos de falsas identificaciones de galaxias en 2MASS (ver tabla 2.1). Los círculos muestran la posición de esos objetos mal identificados en el 2MASS XSC. *Paneles superiores:* 2MASXJ22355791+3357562 (*izquierda*) 2MASXJ08453453+7259512 (*derecha*). *Paneles inferiores:* 2MASXJ06430003-7415042 (*izquierda*), 2MASXJ12523798-3901518 (*derecha*).

en el catálogo 2MASS las magnitudes en la banda  $K$  de todos los miembros de los 100 HCGs originales. Como resultado de la búsqueda se halló que 42 de los HCGs se encuentran dentro del área de estudio (es decir fuera del del plano de la Vía Láctea), y poseen su miembro más brillante con una magnitud menor que  $K = 10,57$  (cuarto criterio de identificación).

La distribución angular de estos 42 HCGs, se muestra en la proyección de Aitoff de la Figura 2.5 las *cruces negras* corresponden a la muestra *p2MCGs*, con *círculos azules* acompañados por el número de identificación que le corresponde en el catálogo de Hickson (Hickson, 1982). Las *cruces negras* corresponden a la muestra de los *2MCGs*, y los *puntos rojos* son fuentes extendidas del catálogo 2MASS XSC (Jarrett et al., 2000), mientras que las *líneas negras a trazos* delimitan la zona del plano galáctico.

Cuadro 2.1: Objetos en 2MASS XCS que han sido mal identificados

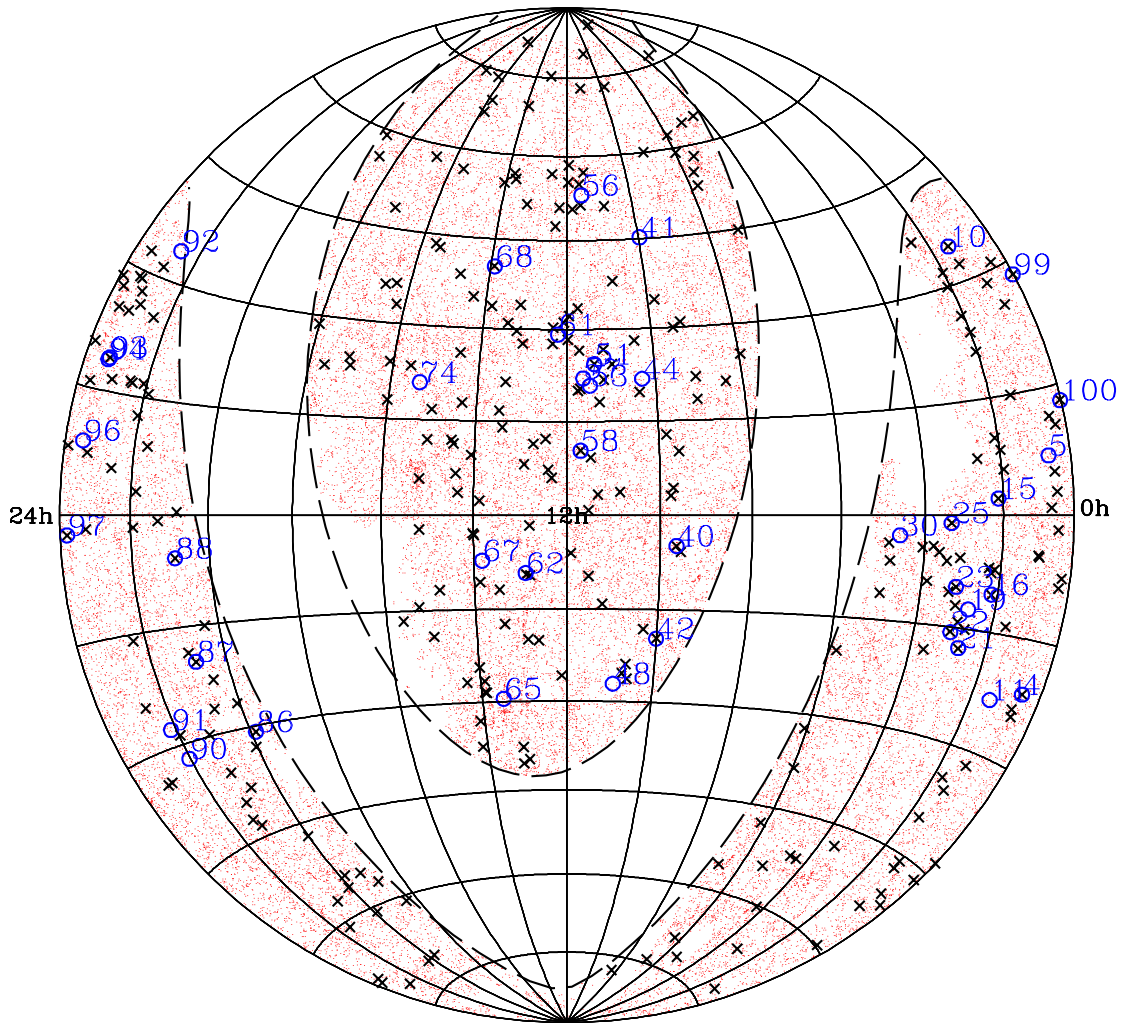
#	Nombre de la galaxia en 2MASS
1	2MASXJ10183975-1813451
2	2MASXJ18533628-5643133
3	2MASXJ14080439-3318147
4	2MASXJ22355791+3357562
5	2MASXJ03554380-4222233
6	2MASXJ07271181+8544540
7	2MASXJ08453453+7259512
8	2MASXJ03582336-4428024
9	2MASXJ11322213+0048325
10	2MASXJ10421741-0022318
11	2MASXJ12422507-0702456
12	2MASXJ07504810+7421171
13	2MASXJ16013973+2121296
14	2MASXJ12040147+2013489
15	2MASXJ07222530+4916277
16	2MASXJ09045569+5955589
17	2MASXJ06430003-7415042
18	2MASXJ00364578+2134078
19	2MASXJ17465074+2045440
20	2MASXJ09054355+1820276
21	2MASXJ11282505+0924272
22	2MASXJ23223215+1153235
23	2MASXJ02142411-0722178
24	2MASXJ12214093+1129448
25	2MASXJ13193834-1242052
26	2MASXJ14200543+0359285
27	2MASXJ12523798-3901518
28	2MASXJ11564096+3201334
29	2MASXJ12494210+2653266
30	2MASXJ13561035+0514388
31	2MASXJ23535429+0757368
32	2MASXJ11561045+6031300
33	2MASXJ15375266+5923382

De los 42 HCGs mostrados en la Figura 2.5, sólo 21 han sido identificados como *p2MCGs* en la muestra del 2MASS XSC, ellos son: HCG 4, 7, 10, 15, 16, 21, 22, 23, 25, 40, 42, 51, 58, 68, 86, 87, 88, 93, 97, 99, 100, (*círculos azules* que encierran *cruces negras* en la Figura 2.5).

Investigando por qué sólo se identificaron 21 HCGs mientras que los otros 21 no se pudieron identificar a pesar de que caen dentro del área de estudio, se encontraron los siguientes motivos:

1. Hay HCGs que no cumplen con el criterio de sólo contener galaxias en un rango de tres magnitudes de la más brillante en la banda  $K_s$  (quizás sí lo cumplen en la





**Figura 2.5:** En *puntos rojos* se muestra la distribución de fuentes del XSC luego de haber quitado las regiones contaminadas por polvo y estrellas de la Vía Láctea, en *línea a trazos* se halla indicado el corte en latitud galáctica, los *círculos azules* corresponden a los HCG que caen dentro del área de estudio, mientras que las *cuces negras* representan los *p2MCGs*.

banda en la cual fueron identificados originalmente, banda *E*). Estos grupos son: HCG 11, 19, 30, 41, 44, 48, 53, 62, 67.

2. Si bien la galaxia más brillante del HCG pertenece a 2MASS, algún otro miembro del grupo no pertenece, probablemente porque es más débil que el límite en mag-

nitud aparente del catálogo ( $K = 13,57$ ) y nuevamente estarían violando el criterio de estar dentro del rango de tres magnitudes de la galaxia más brillante. Este efecto se observa en 10 HCGs: HCG 5, 56, 57, 61, 65, 74, 90, 91, 96, 98.

3. En el caso de HCG 92 (el quinteto de Stephan), el catálogo 2MASS no identifica ninguna de las galaxias de un par muy cercano dentro del grupo, y en cambio asume que hay una sólo en el medio de las dos. Las galaxias que no son identificadas por 2MASS son: NGC 7318A, NGC 7318B
4. Para HCG 94, 2MASS identifica una sola galaxia (NGC7528B) de un par, mientras que la otra (NGC7528A) no pertenece al catálogo por lo cual luego de la inspección visual se decidió desechar al grupo.

Durante la inspección visual realizada utilizando las imágenes del Atlas del Cielo Aladin ([Bonnarel et al. \(2000\)](#)) y gracias a las facilidades que posee el mismo, se buscó información que permitiera conocer si las galaxias en CGs del 2MASS pertenecían a otros catálogos de CGs o similares. De esa manera se obtuvo una estima de cuántos de los  $p2MCGs$  coinciden total o parcialmente con CGs que han sido identificados previamente por otros autores. A continuación se detallan los números de CGs de otros catálogos que también se identificaron en la muestra del 2MASS XSC:

- Redshift Survey Compact Group (RSCG) de [Barton et al. \(1996\)](#) : 8 de los 89 originales.
- Updated Swicky catalog Compact Group (UZC CG) de [Focardi & Kelm \(2002\)](#): 12 de 291.
- Southern Compact Groups (SCG) de [Iovino \(2002\)](#): 20 de 121
- Rose Compact Group of Galaxies de [Rose \(1977\)](#): 2 de 33

Además se hallaron algunas coincidencias con otros tipos de sistemas catalogados, como tripletes o grupos difusos. En la Tabla [A](#) columna 9 (cross\_ID), que se encuentra en el apéndice se hallan detallados cuales de los  $p2MCGs$  ya fueron identificados por otros autores y a qué catálogos pertenecen.

En resumen, el porcentaje de  $p2MCGs$  que pertenecen a otros catálogos, es de sólo el  $\sim 22\%$ , con lo cual en este trabajo se realiza un significativo aporte 230  $p2MCGs$  nunca antes identificados.

En la tabla que se presenta en el Apéndice se presentan los 295 grupos compactos identificados en 2MASS, junto con algunas de sus propiedades observables. En la primera columna se encuentra en número de identificación de los  $p2MCGs$ , en la segunda y

tercera columna se encuentran respectivamente la ascensión recta y declinación del centro del grupo, en la cuarta columna se muestra el número de miembros de cada grupo, en la quinta, sexta, séptima y octava columna se encuentran respectivamente el brillo superficial, el diámetro angular, la magnitud  $K$  de la galaxia más brillante, y la magnitud  $K$  del grupo. En la novena columna se encuentra el resultado de la identificación cruzada con otros catálogos de CGs y algunos otros sistemas, las columnas 10 y 11 poseen respectivamente el número de miembros del grupo con velocidades radiales disponibles, y la diferencia entre la galaxia con mayor y menor velocidad radial de cada grupo, por último en la columna 12 se encuentran señalados con una "x" aquellos grupos con cuatro miembros para los cuales el valor de la diferencia de la velocidad radial de la galaxia más próxima y más lejana es mayor a  $2000 \text{ km s}^{-1}$ . En la última fila de Tabla A se listan las medianas para los parámetros observables.

## 2.4 Filtrado en velocidad radial

Desde que [Hickson et al. \(1992\)](#) publicó los redshifts de las galaxias del catálogo HCG, diversos análisis revelaron que varios de estos grupos poseían galaxias con velocidades radiales muy disímiles ([Hickson et al., 1992](#); [Iovino & Hickson, 1997](#)). Como consecuencia directa de la identificación en proyección en un catálogo fotométrico, algunos miembros de los HCGs resultaron ser simplemente alineamientos a lo largo de la línea de la visual (31% de los HCGs originales fueron descartados por esta razón). [Mendes de Oliveira \(1995\)](#) señala en su trabajo que algunos CGs podrían actuar como lentes gravitacionales débiles, realzando el brillo de las galaxias de fondo que de otro modo caería por debajo de la magnitud de corte del grupo, aumentando de esta manera la fracción de galaxias con redshifts discordantes.

Para poder realizar estudios estadísticos confiables sobre propiedades, evolución, etc. de CGs, es necesario contar con una muestra libre de vicios producidos por efectos de proyección. Por este motivo se decidió realizar una selección de CGs con galaxias con velocidades radiales concordantes para obtener un nuevo conjunto de CGs sobre los cuales se puedan realizar estudios estadísticos confiables, ya que la muestra construida utilizando el algoritmo descrito en la sección 2.2 aplicado sobre el catálogo 2MASS XSC puede estar viciada por estos efectos de proyección.

Para obtener los redshifts de las galaxias miembros de los  $p2MCGs$ , se realizó una búsqueda en la literatura de la siguiente manera:

- Se correlacionaron las galaxias de esta muestra con las galaxias de la muestra principal del catálogo espectroscópico del *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) DR7 (Abazajian & et al., 2009). De allí se obtuvieron velocidades radiales principalmente de galaxias del hemisferio norte, debido a que esa es la región de mayor cobertura del catálogo SDSS.
- Se utilizó el catálogo *6 degree Field Galaxy Redshift Survey* (6dFGS) (Jones et al., 2009), del cual se obtuvo gran cantidad de velocidades radiales de los *p2MCGs*, ya que este catálogo espectroscópico se construyó tomando como base las galaxias del 2MASS para medirles sus corrimientos al rojo.
- Para las galaxias a las que no se les hallaron redshifts en los catálogos mencionados se buscó cada una de las mismas en la Base de Datos Nasa/ipac (NED)<sup>5</sup>.
- Además, 34 redshifts fueron amablemente cedidos para este trabajo por Macri & Huchra (comunicación privada).

En definitiva, se hallaron 1081 velocidades radiales disponibles de 1305 galaxias originales, esto significa que el 83 % del total de las galaxias poseen velocidades radiales medidas y liberadas. En total, el 58 % de los *p2MCGs* posee *todos* sus miembros con datos espectroscópicos disponibles (lo cual equivale a 172 CGs), al 20 % de los *p2MCGs* les falta la velocidad radial de una sola galaxia, mientras que en el 12 % de los *p2MCGs* dos de sus miembros no poseen datos espectroscópicos. Finalmente, un 10 % de los grupos tienen tres o más de sus miembros sin mediciones de redshifts disponibles.

En resumen, se encontraron 172 *p2MCGs* para los cuales todos sus miembros tienen datos espectroscópicos disponibles. Utilizando estos 172 CGs se construyó una muestra filtrada en velocidad radial (de aquí en mas *v2MCG*, por sus siglas en inglés: velocity-filtered 2MASS Compact Group), mediante el siguiente procedimiento iterativo:

- Se calcula la mediana de la velocidad radial del grupo ( $\langle v \rangle$ )
- Las galaxias cuya  $\Delta v_r = v_{gal} - \bar{v} > 1000 \text{ km s}^{-1}$  son descartadas del grupo
- Se recalcula el centro y la velocidad del centro del grupo, y se realiza nuevamente la selección anterior
- Si en el grupo quedan al menos cuatro miembros, y si éste sigue cumpliendo todos los criterios de identificación, entonces se tiene un grupo perteneciente a la nueva muestra de *v2MCGs*
- Luego se comienza nuevamente con otro grupo.

<sup>5</sup><http://nedwww.ipac.caltech.edu/>

Al realizar este procedimiento iterativo para la selección de CGs filtrados en velocidad radial, se encontraron 97 CGs que satisfacen todos los pasos del proceso, es decir el 56 % de los *p2MCGs* sobre los que se realizó este procedimiento. Este porcentaje está calculado sobre los 172 CGs que poseen todos sus miembros con velocidades radiales disponibles, ya que es de esperar que cuando la muestra de los *p2MCGs* posea todas las galaxias de los CGs con velocidades radiales la proporción se mantenga. En comparación con los HCGs filtrados en velocidad radial (Hickson et al., 1992), en el cual se encuentra que el 69 % de los HCGs originales poseen velocidades radiales concordantes, en este trabajo se encuentra un porcentaje un poco menor. Sin embargo, es muy similar al porcentaje que se predice en catálogos construidos de manera automática a partir de simulaciones numéricas combinados con modelos semianalíticos (Díaz-Giménez & Mamon, 2010).



# Capítulo 3

## Propiedades de los Grupos Compactos en el catálogo 2MASS XSC

En el capítulo 2, se detallaron los procedimientos que se siguieron para construir los catálogos de CGs y se presentaron las dos muestras de CGs, los *p2MCGs* y los *v2MCGs*, las cuales representan un aporte muy significativo a las muestras ya conocidas de Grupos Compactos. En el presente capítulo se analizarán propiedades generales de los *p2MCGs*, y se realizará una comparación con catálogos fotométricos de CGs. Luego se analizará la muestra de los *v2MCGs*, estudiando sus propiedades generales, se presentarán correlaciones entre propiedades, y finalmente se realizará una comparación con catálogos espectroscópicos de CGs.

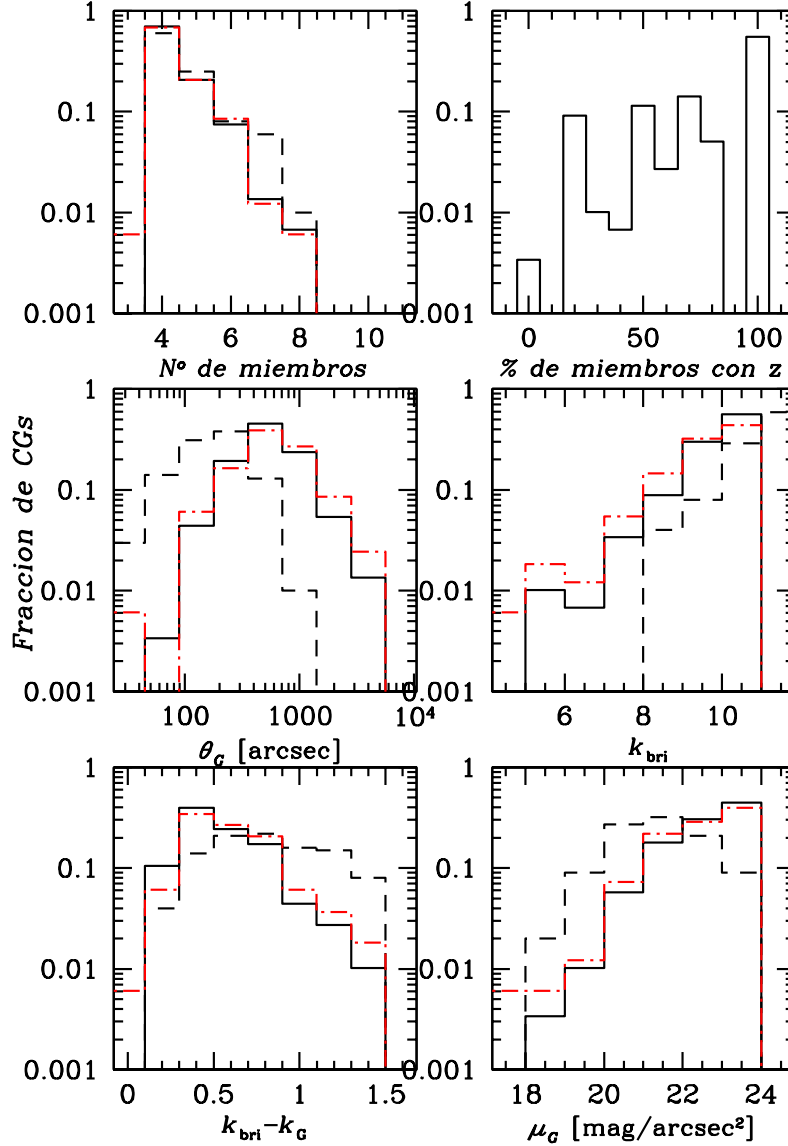
### 3.1 CGs en proyección: la muestra p2MCG

Si bien se sabe que menos del 60 % de los grupos identificados en proyección no sufren de alineamientos aleatorios, es común, inclusive hasta la actualidad, encontrar estudios que utilizan tales muestras para estudiar propiedades generales de CGs (McConnachie et al., 2009). A continuación se analizarán las propiedades de los CGs identificados en proyección, principalmente desde un enfoque comparativo con otros catálogos, poniendo énfasis particular en la comparación con los resultados obtenidos de los HCGs, para los cuales tantos estudios se han llevado a cabo.

En la Figura 3.1 se muestran las distribuciones de diversas propiedades para los 295 *p2MCGs* (en línea sólida) y para los 100 HCGs (en línea a trazos): Número de miembros en CGs (*panel superior izquierdo*), porcentaje de miembros de los grupos con redshifts disponibles (*panel superior derecho*), diámetro angular de los grupos (*panel central izquierdo*), magnitud aparente en la banda *K* del miembro más brillante del grupo (*panel central derecho*), diferencia entre las magnitudes de la galaxia más brillante y la magnitud total del grupo  $K_{bri} - K_G$  (*panel inferior izquierdo*), y brillo superficial de los CGs (*panel inferior derecho*).

En el *panel superior izquierdo* de la figura 3.1 se puede observar que tanto en los *p2MCGs*, como en los HCGs la mayoría de los grupos tienen  $N = 4$ , mientras que no se hallan grupos que contengan 9 ó 10 miembros. En el *panel superior derecho* se observa que menos del 1 % de los *p2MCGs* no posee ningún miembro con velocidad radial disponible, (en realidad sólo 1 grupo no tiene ninguna galaxia con datos espectroscópicos disponibles), mientras que el 56 % de los mismos poseen todas las galaxias del grupo con velocidades radiales halladas en la literatura, en este gráfico no muestra la distribución de velocidades radiales para la muestra de Hickson dado que las mismas están disponibles para todas las galaxias de los HCGs. En el *panel central izquierdo* se muestra el diámetro angular de los grupos, se puede ver que la distribución de la muestra de los HCGs posee su máximo desplazado hacia valores menores que la muestra de los *p2MCGs*. Esto podría deberse a dos motivos, uno es que los HCGs sean efectivamente más chicos que los *p2MCGs* o, al tratarse de tamaño angular proyectado, podríamos estar observando un efecto que es consecuencia de la distancia a la que se encuentran los grupos, con los HCGs ubicados a mayor distancia que los *p2MCGs*. En el *panel central derecho*, se observa que para los *p2MCGs* poseen galaxias más brillantes que la muestra de los HCGs. En el *panel inferior izquierdo* se puede observar la contribución de la galaxia más brillante a la magnitud total del grupo. Puede verse que en la muestra de los *p2MCGs* domina la galaxia más brillante, mientras que para los HCGs la galaxia más brillante no es tan dominante. Esto que ocurre en la muestra de Hickson se debe a que la selección realizada de forma visual facilita la detección de grupos con dos galaxias dominantes de magnitudes similares, como ya fue notado por algunos autores (Prandoni et al., 1994; Díaz-Giménez & Mamon, 2010). Finalmente, en el *panel inferior derecho*, se muestran las distribuciones de brillo superficial, y se puede observar que la muestra de los *p2MCGs* crece para magnitudes más débiles, mientras que la distribución de la muestra de Hickson se cae en el límite del criterio de compacticidad. Esto se debe a que la identificación visual no permite detectar los CGs más débiles, el propio Hickson notó que este efecto





**Figura 3.1:** Distribuciones de propiedades observables de los CGs. Número de miembros en CGs (*panel superior izquierdo*), porcentaje de miembros de los grupos con redshifts disponibles (*panel superior derecho*), diámetro angular de los grupos (*panel central izquierdo*), magnitud aparente en la banda  $K$  del miembro más brillante del grupo (*panel central derecho*), diferencia entre las magnitudes de la galaxia más brillante y del grupo en la banda  $K$  (*panel inferior izquierdo*), brillo superficial de los CGs (*panel inferior derecho*). En líneas sólidas se presentan los  $p2MCG$ s, en líneas a trazos los  $HCG$  y en líneas de trazos y puntos rojas se presenta los 172  $p2MCG$ s que poseen todos sus miembros con velocidades radiales

era esperable (Hickson, 1982) y además fue corroborado por Díaz-Giménez & Mamon (2010).

### 3.1.1 Comparación con catálogos fotométricos

Una forma de caracterizar un catálogo de grupos, es calcular las medianas de sus propiedades. Es interesante realizar una comparación de las propiedades generales de los CGs que se presentan en este trabajo con las de otras muestras de CGs. Se obtuvo información de diversos catálogos disponibles en Strasbourg astronomical Data Center (CDS).<sup>1</sup>

Para poder comparar el catálogo *p2MCG* con otros, se buscó información en CDS para los siguientes seis catálogos: HCG (Hickson, 1982), DPOSSCG/03 (Iovino et al., 2003), DPOSSCG/05 (de Carvalho et al., 2005), SDSSCG/04 (Lee et al., 2004), SDSSCG-A/09 (McConnachie et al., 2009), SDSSCG-B/09 (McConnachie et al., 2009). Es de gran importancia resaltar que si bien se usó la información brindada por los autores respecto de las posiciones y magnitudes de las galaxias miembros, se calcularon para los CGs de esas muestras todas las medianas de las propiedades de igual manera que se hizo para los *p2MCGs*, usando los programas que se utilizaron para los cálculos de los *p2MCGs*, para poder asegurar que todo estuviera calculado de igual manera.

En la tabla 3.1 se pueden observar las medianas de las propiedades observables y sus rangos semi-intercuartiles para las muestras fotométricas de CGs de los catálogos arriba mencionados. En la primera columna se hallan los nombres de las propiedades, en la segunda, los valores de las mismas para la muestra de los *p2MCGs*, en la tercer columna se encuentran los valores de las propiedades de los HCGs, en la cuarta columna se hallan los valores de las propiedades del catálogo DPOSSCG/03, en la quinta están los valores de las propiedades de DPOSSCG/05, en la sexta columna se encuentran los valores de SDSSCG/04, en la séptima columna están los valores de las propiedades del catálogo SDSSCG-A/09, y por último en la octava columna se encuentran los valores de las propiedades de la muestra SDSSCG-B/09.

Para poder realizar la comparación entre las propiedades de los CGs de las distintas muestras es necesario tener en cuenta que los mismos han sido identificados en diferentes bandas fotométricas, por lo cual la comparación directa carece completamente de sentido.

<sup>1</sup><http://cdsweb.u-strasbg.fr/>

Cuadro 3.1: Propiedades medias de los CGs en proyección

	$p2MCG^0$	HCG <sup>1</sup>	DPOSSCG/03 <sup>2</sup>	DPOSSCG/05 <sup>3</sup>	SDSSCG/04 <sup>4</sup>	SDSSCG-A/09 <sup>5</sup>	SDSSCG-B/09 <sup>5</sup>
#	295	100	84	459	177	2297	74791
$\theta_G$ [arcmin]	$8,9 \pm 3,5$	$3,1 \pm 1,4$	$0,7 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,4$	$0,4 \pm 0,1$
$R_{\text{brillante}}$	$12,1 \pm 0,4$	$13,3 \pm 0,7$	$16,2 \pm 0,2$	$16,5 \pm 0,3$	$16,8 \pm 0,6$	$15,8 \pm 0,5$	$18,4 \pm 0,7$
$R_G$	$11,5 \pm 0,5$	$12,5 \pm 0,6$	$15,3 \pm 0,3$	$15,6 \pm 0,3$	$16,2 \pm 0,5$	$15,0 \pm 0,4$	$17,6 \pm 0,5$
$\mu_G$ [mag arcsec <sup>-2</sup> ]	$24,8 \pm 0,7$	$23,3 \pm 0,8$	$23,1 \pm 0,3$	$23,6 \pm 0,3$	$23,2 \pm 0,3$	$24,5 \pm 0,6$	$24,5 \pm 0,5$
$R_{\text{debil}} - R_{\text{brillante}}$	$2,8 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,5$	$1,6 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,3$	$2,7 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,5$	$1,9 \pm 0,6$
$R_{\text{brillante}} - R_G$	$0,5 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,3$	$0,9 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,2$

#:Número de CGs

 $\theta_G$ : diámetro angular del grupo,  $R_{\text{brillante}}$ : magnitud aparente del miembro más brillante en la banda  $R$ , $R_G$ : magnitud total aparente del grupo,  $\mu_G$ : brillo superficial medio del grupo en la banda  $R$ , $R_{\text{debil}} - R_{\text{brillante}}$ : diferencia de magnitudes aparentes entre la galaxia más débil y la más brillante del grupo, $R_{\text{brillante}} - R_G$ : diferencia entre las magnitudes aparentes de la galaxia más brillante y la magnitud total del grupo.

Los errores son los rangos semi-intercuartiles.

0: Este trabajo,  $K = R - 2$ 1: [Hickson \(1982\)](#),  $E = R$ 2: [Iovino et al. \(2003\)](#),  $sdss - r = R + 0,33$ 3: [de Carvalho et al. \(2005\)](#),  $R$ 4: [Lee et al. \(2004\)](#),  $sdss - r = R + 0,33$ 5: [McConnachie et al. \(2009\)](#),  $sdss - r = R + 0,33$

Por lo tanto fue necesario convertir las magnitudes en las distintas bandas a una en particular y recién entonces realizar las comparaciones. En este trabajo, las magnitudes de la muestra de los  $p2MCGs$  están en la banda  $K$ , los HCGs poseen magnitudes en la banda  $E$  (la cual es similar a la banda  $R$ ), DPOSSCG/03 tiene magnitudes en la banda  $r$  de SDSS, las magnitudes de DPOSSCG/05 están en la banda  $R$ -GUNN, mientras que SDSSCG/04/09 poseen magnitudes en la banda  $r$  de SDSS. En la tabla 3.1, todas las magnitudes han sido convertidas a la banda  $R$ .

Se puede observar de la Tabla 3.1, que los  $p2MCGs$  son los CGs más brillantes en lo que respecta a la magnitud total de los grupos, como así también a la galaxia más brillante. Los  $p2MCGs$  son los que tienen mayor diámetro angular, es por esto que el brillo superficial de los CGs de esta muestra es el más débil. Si bien no se posee la información de los redshifts de todas las muestras, las propiedades hasta aquí analizadas parecen indicar que la muestra de los  $p2MCGs$  es más cercana que las otras muestras.

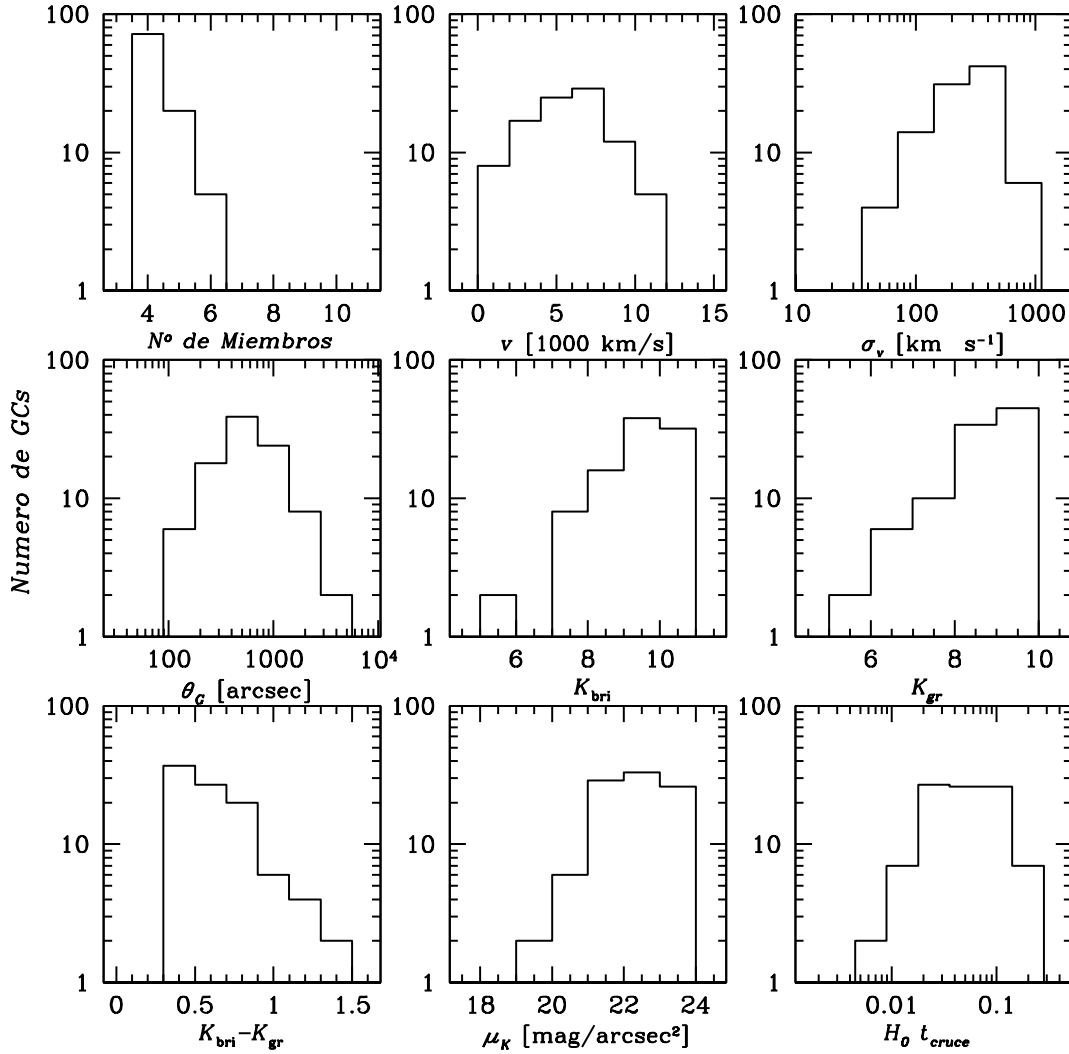
Es importante mencionar que no todos los catálogos utilizados para la comparación fueron realizados utilizando el cuarto criterio con el cual se construyó la muestra de los  $p2MCGs$ , el cual asegura que se pueden observar todos los miembros del grupo que están en un rango de 3 magnitudes de la galaxia más brillante. Por otro lado, en algunos de los catálogos analizados, la magnitud límite de los mismos es una o dos magnitudes más débil que la de la galaxia más brillante de los grupos. De esta manera se produce un sesgo en la identificación de grupos con galaxias con diferencias menores entre las magnitudes de la galaxia más brillante y la más débil del grupo, como sucede en los catálogos DPOSS/03/05 y SDSSCG-A/B; se encuentra al analizar la diferencia en magnitud entre el miembro más brillante y el más débil, para dichos catálogos un  $\Delta R$  de sólo 1,6 magnitudes. Para los  $p2MCGs$ , la diferencia de las magnitudes de la galaxia más brillante y la más débil del grupo, es de 2,8, ya que los CGs cumplen con el cuarto criterio de identificación.

## 3.2 CGs filtrados en velocidad radial

Como ya se mencionó, si se quieren estudiar las propiedades de grupos tan peculiares como lo son los CGs, es preferible contar con una muestra libre de efectos de proyección, para asegurar que los sistemas analizados son reales. En el capítulo 2 se introdujo la muestra de CGs filtrada en velocidad radial ( $v2MCG$ ) que será analizada en detalle en las siguientes secciones.

A continuación se realizará la comparación entre las propiedades de los grupos luego del filtro en velocidad radial (*v2MCGs*) con las que poseían antes del filtrado en velocidad (*líneas rojas a trazos de la Figura 3.1*). En la Figura 3.2 se muestran las distribuciones de: número de miembros de los CGs (*panel superior izquierdo*), velocidad media (*panel medio superior*), dispersión de velocidades (*panel superior derecho*) que fue calculada siguiendo [Beers et al. \(1990\)](#), ya que es un mejor estimador de esta propiedad para grupos de pocos miembros, el diámetro angular de los CGs (*panel izquierdo medio*), magnitud en la banda *K* del miembro más brillante (*panel central medio*), magnitud aparente total de grupo (*panel central derecho*), contribución de la galaxia más brillante a la magnitud total del grupo (*panel inferior izquierdo*), brillo superficial (*panel inferior medio*), y tiempo de cruce adimensional (*panel inferior derecho*), calculado de acuerdo con:  $H_0 t_c = \frac{400 \langle d_{ij} \rangle}{\pi \sigma_v}$ , donde  $\langle d_{ij} \rangle$  es la mediana de la distancia proyectada entre galaxias.

En la Figura 3.2 puede verse que los *v2MCGs* tienen como máximo 6 miembros, mientras que en la muestra de los *p2MCGs* (Figura 3.1) existían grupos con hasta 8 miembros. Esta diferencia surge del hecho de que los CGs con mayor multiplicidad tienen mayor probabilidad de alojar galaxias discordantes. De la misma manera, comparando las distribuciones de  $\theta_G$  de las muestras *v2MCGs* y *p2MCGs*, puede verse que después del filtrado en velocidad radial, los grupos con diámetros angulares muy pequeños ( $< 100$  arcsec) han desaparecido. Tales ángulos pequeños son esperables en grupos donde las galaxias se encuentran muy separadas entre sí a lo largo de la línea de la visual, pero en proyección se ven sumamente próximas. En el panel análogo de la Figura 3.1 puede verse que entre los 172 *p2MCGs* a los que se les aplicó el filtro en velocidad radial existen CGs con diámetros angulares menores que 100 arcsec, por lo cual se descarta la posibilidad de que al obtener datos espectroscópicos del catálogo SLOAN, el cual posee el problema de colisión de fibras, no se haya podido obtener las velocidades radiales de dos galaxias muy cercanas entre sí en proyección, y por este motivo se hayan perdido todos los grupos con diámetros angulares pequeños. Analizando la diferencia entre la magnitud de la galaxia más brillante y la magnitud total del grupo, puede verse que, en comparación con los *p2MCGs*, los grupos con una galaxia *muy* dominante han desaparecido ( $K_{bri} - K_{gr} < 0,4$ ), como así también los del extremo opuesto, donde todas las galaxias colaboran en igual medida ( $K_{bri} - K_{gr} \geq 1,5$ ). Aun así, prevalecen los grupos en los que la galaxia más brillante contribuye en mayor medida a la luminosidad total del grupo. Respecto del brillo superficial, puede verse que la distribución disminuye hacia el límite de identificación, implicando que los grupos más débiles tienen mayor probabilidad de ser alineamientos aleatorios. El comportamiento de esta distribución



**Figura 3.2:** Distribuciones de propiedades de los CGs de la muestra  $v2MCG$ : Número de miembros de los CGs (*panel superior izquierdo*), velocidad radial media de los CGs (*panel medio superior*), dispersión de velocidades (*panel superior derecho*), diámetro angular de los CGs (*panel central izquierdo*), magnitud aparente de la galaxia más brillante del grupo (*panel central medio*), magnitud aparente del grupo (*panel central derecho*), contribución de la galaxia más brillante a la magnitud total del grupo (*panel inferior izquierdo*), brillo superficial (*panel inferior medio*), y tiempo de cruce adimensional (*panel inferior derecho*)

es ahora similar a lo que ocurre en la distribución de brillo superficial de los HCGs identificados en proyección (Figura 3.1, *panel inferior izquierdo*), lo que indica que en este caso se puede decir que la identificación visual de Hickson contribuyó a descartar

desde la identificación en proyección aquellos grupos con brillos superficiales más débil que son resultado de alineamientos aleatorios.

### 3.2.1 Correlaciones entre Propiedades de los CGs

Diversos trabajos realizados sobre el catálogo de Hickson han encontrado que ciertas propiedades de los grupos correlacionan con otras (Hickson et al., 1992; Hickson, 1997; Tovmassian et al., 1999), en esta sección se revisarán esas correlaciones para la muestra *v2MCG*, y se mostrarán los resultados.

La forma analítica más usada para determinar si dos variables están correlacionadas es mediante el cálculo de los coeficientes de correlación de Spearman y sus intervalos de confianza, para muestras con relativamente pocos datos. El intervalo de confianza expresa cual es el porcentaje para el cual el valor de correlación es confiable, en general se acepta que si éste es mayor o igual al 95 % entonces existe correlación.

La Tabla 3.2 presenta los resultados de las correlaciones mostradas en el trabajo. En la primera columna se encuentran las variables relacionadas, en la segunda columna los coeficientes de Spearman de las mismas, y en la tercer columna se observan los intervalos de confiancias para las correlaciones.

**Cuadro 3.2:** Resultados de las correlaciones entre propiedades analizadas

Correlaciones	Coef. de Spearman	Int. de confianza
$L_g[L_\odot h^{-1}] vs. r_p[kpch^{-1}]$	0,536	99,99
$L_g[L_\odot h^{-1}] vs. \sigma_v[km/s]$	-0,247	98,54
$r_p[kpch^{-1}] vs. \sigma_v[km/s]$	-0,120	75,92
$M/L[M_\odot/L_\odot] vs. H_0 t_{cross} 10^{-3}$	0,237	98,06
$t_{cross} 10^{-3} vs. z_{medio}$	-0,241	98,27
$L_g[L_\odot h^{-1}] vs. z_{medio}$	-0,162	88,74
$r_p[kpch^{-1}] vs. z_{medio}$	-7,102	51,06

Dado que Díaz & Muriel (2005) hallaron que existe un Plano Fundamental en grupos difusos y cúmulos en el espacio tridimensional conformado por la luminosidad del grupo, el radio proyectado y la dispersión de velocidades, en este trabajo se analizó si los *v2MCGs* conforman un plano en el espacio tridimensional mencionado. Los tres



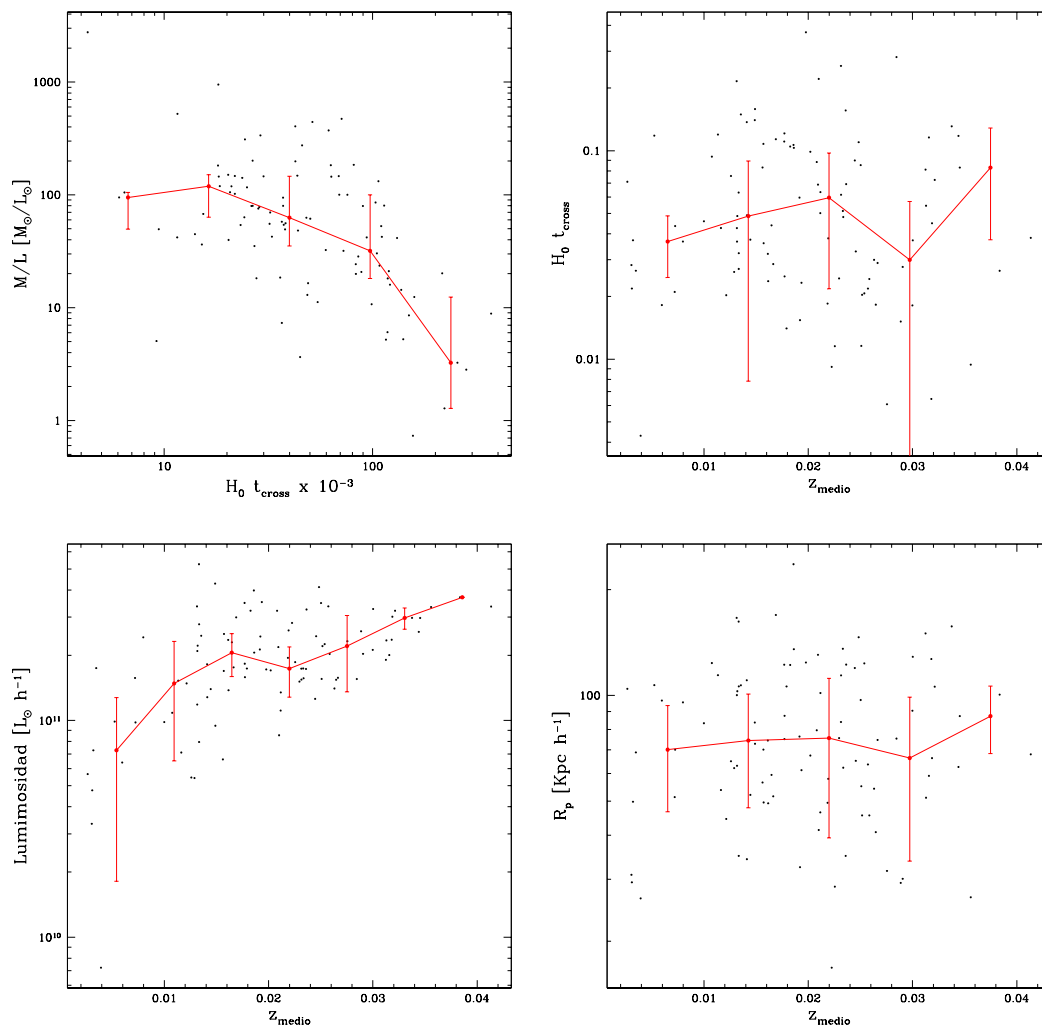


sión. En el *panel central* se puede ver la Luminosidad como función de la dispersión de velocidades. Se observa anticorrelación entre estas propiedades, ya que la distribución parece tener pendiente negativa. En el *panel inferior* se muestra el radio proyectado como función de la dispersión de velocidades, para la cual no se observa correlación. Para asegurar que lo observado en la Figura 3.3 en cuanto a las correlaciones de las propiedades, se muestran los valores del coeficiente de Spearman y sus intervalos de confianza en la Tabla 3.2. Se observa que la luminosidad del grupo,  $L_G$ , correlaciona con el radio proyectado,  $r_p$  ya que el intervalo de confianza es 99,99%, con lo cual se puede decir que la correlación es confiable. La luminosidad del grupo presenta anticorrelación con la dispersión de velocidades,  $\sigma_v$ , con un valor del intervalo de confianza del 98,54%; mientras que el radio proyectado presenta anticorrelación con la dispersión de velocidades, pero con un intervalo de confianza del 75,92%, lo cual significa que no existe correlación entre estas dos variables.

Por los resultados obtenidos, se puede concluir que los grupos pertenecientes a la muestra de los  $v2MCGs$  pertenecen a un Plano Fundamental en el espacio tridimensional que conforman estas tres propiedades, esto está de acuerdo con lo que sucede para grupos difusos y cúmulos.

En la Figura 3.4 se muestran otras correlaciones entre las propiedades de los  $v2MCGs$ : en el *panel superior izquierdo* se observa el cociente masa-luminosidad ( $M/L$ ) vs. el tiempo de cruce adimensional ( $H_0 t_{cross}$ ), en el *panel superior derecho* se puede ver el tiempo de cruce adimensional vs. el redshift medio ( $z_{medio}$ ), en el *panel inferior izquierdo* se halla la Luminosidad vs. el  $z_{medio}$ , mientras que en el *panel inferior derecho* se observa el Radio Proyectado vs. el redshift medio de la muestra. Los *puntos negros* de los paneles de la Figura 3.4 representan a cada uno de los grupos de la muestra de los  $v2MCGs$ , mientras que los *puntos rojos* representan la mediana por bin, la *línea sólida roja* que une los puntos del bineado ayuda a visualizar si en las relaciones se halla alguna tendencia de correlación, anticorrelación o si la tendencia es débil. Las *barras verticales* son los rangos semi-intercuartiles e indican cuál es la distribución que posee la muestra en cada bin. En este punto es interesante resaltar que dado que la muestra posee en su totalidad sólo 97 CGs, en algunos casos la cantidad de puntos por cada bin es muy poca, y es por esto que las barras pueden aparentar gran dispersión.

En las últimas cuatro filas de la Tabla 3.2 se encuentran los coeficientes de Spearman y sus respectivos intervalos de confianzas para las correlaciones que se muestran en la Figura 3.4. De allí se observa que las cantidades  $M/L$  y  $H_0 t_{cross}$  al igual que  $H_0 t_{cross}$



**Figura 3.4:** Correlaciones entre las propiedades de los  $v2MCG$ s. En el *panel superior izquierdo* se observa el cociente masa-luminosidad vs. el tiempo de cruce, en el *panel superior derecho* se puede ver el tiempo de cruce vs. el redshift medio ( $z$  medio), en el *panel inferior izquierdo* se halla la Luminosidad vs. el  $z_{\text{medio}}$ , mientras que en el *panel inferior derecho* se observa el Radio Proyectado vs. el redshift medio de la muestra.

y  $z_{\text{medio}}$  están correlacionadas, mientras que  $L_G$  y  $z_{\text{medio}}$  así como  $r_p$  y  $z_{\text{medio}}$  no están correlacionadas.

**Cuadro 3.3:** Propiedades medias de los CGs luego del filtrado en velocidad radial

	$v2MCG^0$	HCG <sup>1</sup>	UZC-CG <sup>2</sup>	LCCG <sup>3</sup>
#	97	69	69	17
$\theta_G$ [arcmin]	$9,8 \pm 4,8$	$2,5 \pm 1,4$	$15,9 \pm 9,9$	$1,0 \pm 0,3$
$R_{\text{brillante}}$	$11,6 \pm 0,5$	$13,4 \pm 0,8$	$12,0 \pm 0,8$	$16,1 \pm 0,4$
$R_G$	$10,9 \pm 0,6$	$12,5 \pm 0,8$	$11,1 \pm 0,6$	$15,1 \pm 0,3$
$\mu_G$ [mag arcsec <sup>-2</sup> ]	$24,4 \pm 0,8$	$23,2 \pm 0,7$	$25,7 \pm 0,6$	$23,9 \pm 0,6$
$R_{\text{dbil}} - R_{\text{brillante}}$	$2,5 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,6$	$1,2 \pm 0,5$
$R_{\text{brillante}} - R_G$	$0,6 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,2$
$R_2 - R_1$	$1,1 \pm 0,5$	$0,6 \pm 0,4$	$0,4 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,3$
$v_r$ [km s <sup>-1</sup> ]	$5800 \pm 1773$	$9154 \pm 3079$	$4831 \pm 2226$	$23601 \pm 3680$
$\sigma_v$ [km s <sup>-1</sup> ]	$273 \pm 114$	$299 \pm 97$	$292 \pm 113$	$278 \pm 113$
$r_p$ [kpc h <sup>-1</sup> ]	$73 \pm 27$	$34 \pm 11$	$110 \pm 28$	$38 \pm 7$
$\langle d_{ij} \rangle$ [kpc h <sup>-1</sup> ]	$99 \pm 33$	$40 \pm 13$	$138 \pm 32$	$44 \pm 7$
$H_0 t_{\text{cruce}} \times 10^{-3}$	$44 \pm 34$	$15 \pm 9$	$52 \pm 33$	$19 \pm 9$
$T_1$	$0,66 \pm 0,12$	$1,52 \pm 0,24$	$1,61 \pm 0,27$	$1,13 \pm 0,29$
$T_2$	$0,71 \pm 0,05$	$1,02 \pm 0,09$	$1,12 \pm 0,09$	$1,09 \pm 0,18$

0: Este trabajo,  $K = R - 2$ 1: Hickson et al. (1992),  $E = R$ 2: Focardi & Kelm (2002),  $B = R + 1,7$ 3: Allam & Tucker (2000),  $R$ .

### 3.2.2 Comparación con catálogos con datos espectroscópicos

Al igual que se hizo con el catálogo de los CGs identificados en proyección, en esta sección se procederá a comparar el catálogo  $v2MCG$  con otros catálogos publicados con información de velocidades radiales.

En la Tabla 3.3 se encuentran los valores las siguientes propiedades: #: número de CGs con 4 o más miembros concoordantes;  $\theta_G$ : diámetro angular del grupo;  $R_{\text{brillante}}$ : magnitud aparente de la galaxia más brillante en la banda  $R$ ;  $R_G$ : magnitud total aparente;  $\mu_G$ : brillo superficial medio del grupo;  $R_{\text{dbil}} - R_{\text{brillante}}$ : diferencia entre las magnitudes aparentes de la galaxia más débil y la más brillante del grupo;  $R_{\text{brillante}} - R_G$ : diferencia entre las magnitudes de la galaxia más brillante y la magnitud total del grupo;  $R_2 - R_1$ : diferencia entre la magnitud de la galaxia más brillante y la segunda más brillante del grupo;  $v_r$ : velocidad radial del grupo;  $\sigma_v$ : dispersión de velocidad del grupo;  $r_p$ : radio proyectado del grupo;  $\langle d_{ij} \rangle$ : mediana de la separación proyectada entre

galaxias;  $H_0 t_{cruce}$ : tiempo de cruce sin dimensiones;  $T_1$  y  $T_2$ : estadística de Tremaine-Richstone (Tremaine & Richstone, 1977). Las correcciones-k fueron calculadas de acuerdo con Poggianti, 1997.

Los errores son los rangos semi-intercuartiles, excepto para  $T_1$  y  $T_2$ , donde los errores fueron calculados usando la técnica bootstrapping.

A partir del CDS, se obtuvieron los siguientes catálogos con información espectroscópica para todos sus miembros: HCG (Hickson et al., 1992), Updated Zwicky Catalog of Compact Groups (UZC-CG) (Focardi & Kelm, 2002), y Las Campanas Compact Groups (LCCG) (Allam & Tucker, 2000). Una vez obtenidos los datos, se compararon estas muestras con los  $v2MCG$ s. Nuevamente, las propiedades de todos los otros catálogos fueron medidos con programas propios, los mismos que fueron utilizados para calcular las propiedades de los  $v2MCG$ s, para asegurar la homogeneidad de los cálculos. Las medianas de las propiedades de los CGs filtrados en velocidad radial se hallan en la Tabla 3.3 como así también sus rangos semi-intercuartiles. En las primeras siete filas se muestran propiedades que dependen de la distancia o de la banda fotométrica, mientras que, en las últimas siete filas se muestran propiedades intrínsecas de los grupos. Para realizar estas comparaciones, las bandas fotométricas de los distintos catálogos fueron convertidas a la banda  $R$  (para la banda  $B$  se siguió a Prandoni et al. (1994) asumiendo  $B = R + 1,7$ ). Se incluyeron en la Tabla 3.3 las estadísticas de Tremaine & Richstone (1977),  $T_1$  y  $T_2$ , las cuales se definen de la siguiente manera:

$$T_1 = \frac{\sigma(M_1)}{\langle M_2 - M_1 \rangle} \quad , \quad T_2 = \frac{1}{\sqrt{0,677}} \frac{\sigma(M_2 - M_1)}{\langle M_2 - M_1 \rangle}$$

donde  $\sigma(M_1)$  y  $\sigma(M_2 - M_1)$  son las desviaciones estándares de la magnitud absoluta de la galaxia más brillante ( $M_1$ ), y de la diferencia de magnitudes absolutas de la galaxia más brillante y de la segunda más brillante del grupo ( $M_2 - M_1$ ). Si los valores de  $T_1$  y  $T_2$  son menores que la unidad esto implica que la galaxia más brillante del grupo es anormalmente brillante. Las simulaciones de  $N$ -cuerpos indican que las fusiones de galaxias en grupos físicamente densos llevan los valores de  $T_1$  y  $T_2$  por debajo de 0,7 (Mamon, 1987).

La Tabla 3.3 muestra que los catálogos más cercanos son el UZC-CG y  $v2MCG$ . Estas dos muestras cercanas de CGs presentan el radio proyectado más grande, al igual que la distancia media entre partículas y el tiempo de cruce adimensional. Las cuatro muestras de CGs, poseen propiedades medias similares (dentro de los rangos intercuarti-

les), excepto para  $T_1$  y  $T_2$ . En particular, las dispersiones de velocidad para los distintos catálogos son muy parecidas entre sí, siendo del orden de  $300 \text{ km s}^{-1}$ .

De la Tabla 3.3 puede verse que para los  $v2MCGs$ , las estadísticas de Tremaine-Richston son inferiores a la unidad ( $T_1 = 0,66$  y  $T_2 = 0,71$ ), mientras que para todos los otros catálogos estas cantidades superan la unidad. Este resultado sugiere que las galaxias más brillantes de los grupos de la muestra  $v2MCGs$  son producto de fusiones de galaxias.



## Capítulo 4

# Conclusiones y Perspectivas

La realización de este trabajo estuvo motivada por la importancia de contar con un catálogo homogéneo y estadísticamente confiable de CGs, ya que como se mencionó en el capítulo 1, la muestra más utilizada para realizar estudios sobre estos sistemas sigue siendo la de Hickson (Hickson, 1982), y la misma no es completa ni homogénea (Díaz-Giménez & Mamon, 2010).

Se utilizó como catálogo fuente al 2MASS XSC, al cual se le quitaron las regiones afectadas por contaminación estelar y polvo, mayormente en regiones cercanas al plano galáctico, con lo cual el catálogo base se redujo de aproximadamente 1,6 millones de fuentes extendidas a 408,618. Se utilizó la banda fotométrica  $K_s$  que corresponde a los 2,17 micrones.

La identificación de los CGs se realizó mediante un algoritmo automático de búsqueda desarrollado por Díaz-Giménez & Mamon (2010), que sigue los lineamientos básicos que utilizó Hickson para la construcción del HCG y además se agrega un criterio de límite en flujo, necesario debido a que el catálogo fuente posee un corte en magnitud aparente. De esta manera se obtuvo una muestra de CGs en proyección a la que se llamó *p2MCG*. Se realizó una inspección visual de cada galaxia perteneciente a los 329 CGs en proyección identificados automáticamente, utilizando las facilidades del Atlas del Cielo Aladin (Bonnarel et al., 2000). Se encontró que varios objetos extendidos habían sido mal clasificadas, con lo cual se debieron descartar algunos miembros de los grupos y al realizar esto el número de grupos se redujo a 295, ya que varios CGs dejaron de cumplir uno o más de los criterios de selección.

Se realizó una identificación cruzada de la muestra de los  $p2MCGs$  con catálogos de CGs realizados por otros autores, poniendo especial énfasis en reconocer cuáles de los CGs pertenecientes al catálogo de Hickson se pudieron reconocer, se encontró que 42 HCGs caen en el área de estudio y además cumplen con el cuarto criterio de identificación utilizado para construir la muestra de los  $p2MCGs$ . De estos 42 HCGs se pudieron identificar sólo 21. No se pudieron identificar los otros 21 HCGs debido a diferencias en las magnitudes y/o problemas inherentes al catálogo fuente. En la identificación cruzada con otros catálogos de CGs se encontró que sólo el 22 % de los  $p2MCGs$  fueron previamente identificados por otros autores.

Con el fin de hallar las velocidades radiales de las galaxias de los CGs en proyección, se cruzó la muestra de los  $p2MCG$  con el catálogo espectroscópico SDSS DR7, como así también con el catálogo 6dFGRS, mientras que para las galaxias a las que no se le hallaron las velocidades radiales en estas muestras, se buscó en la base de datos del NED. Además se contó con la colaboración de Macri & Hucha quienes cedieron 34 velocidades radiales para la realización de este trabajo. Se hallaron 1081 velocidades radiales disponibles de 1305 galaxias originales, esto significa que el 83 % del total de las galaxias poseen redshifts accesibles. Una vez que se recopilaron estos datos, se encontró que el 58 % de los  $p2MCGs$  tienen todos sus miembros con velocidad radial medida. Sobre esos grupos se realizó un procedimiento iterativo para obtener una nueva muestra filtrada en velocidad radial, esta muestra se llamó  $v2MCG$ . Esta muestra contiene 97 CGs, lo cual corresponde al 56 % de los  $p2MCGs$  con redshifts disponibles.

Luego se procedió a realizar el análisis de las muestras, comenzando por la de CGs en proyección. Se realizó un estudio comparativo de las propiedades generales de los  $p2MCGs$  con los HCGs, del cual los resultados principales indican que los HCGs podrían ser más pequeños angularmente, o simplemente podrían ser más lejanos que los  $p2MCGs$ . También pudo verse en la comparación que los grupos pertenecientes al catálogo de Hickson poseen dos galaxias dominantes de magnitudes similares debido a un vicio de la identificación visual, mientras que en los grupos seleccionados de manera automática una galaxia domina, logrando que la diferencia entre la magnitud de la galaxia más brillante y la magnitud total del grupo sea muy pequeña. Luego se realizó una comparación con catálogos fotométricos de CGs. Los  $p2MCGs$  son los CGs más brillantes en lo que respecta a la magnitud total de los grupos, como así también referido a su galaxia más brillante, mientras que son los  $p2MCGs$  los que tienen mayor diámetro angular, razón por la cual el brillo superficial de los CGs de esta muestra es más débil. Si bien no se posee la información de las velocidades radiales de todas las muestras, las propiedades



analizadas parecen indicar que la muestra de los  $p2MCGs$  es más cercana que las otras muestras.

Se realizó un estudio comparativo entre las propiedades generales de la muestra filtrada en velocidad radial y la proyectada. Los principales resultados son: al filtrar la muestra, y eliminar las galaxias en proyección, se puede ver que la máxima multiplicidad de los grupos se ve reducida llegando a 6 para los grupos filtrados, mientras que en la proyección este número ascendía hasta 8. Los grupos con diámetros angulares  $< 100$  arcsec no pertenecen a los  $v2MCG$ . Los grupos con una galaxia *muy* dominante han desaparecido, como así también los que todas las galaxias colaboran en igual medida. Respecto del brillo superficial, puede verse que la distribución disminuye hacia el límite de identificación, implicando que los grupos más débiles tienen mayor probabilidad de ser alineamientos aleatorios.

Al realizar correlaciones entre algunas propiedades de los grupos pertenecientes a la muestra de los  $v2MCGs$ , se encontraron resultados interesantes como por ejemplo que los CGs pertenecen a un Plano Fundamental de grupos en el espacio tridimensional  $L_G$ ,  $r_p$  y  $\sigma_v$ . Para las otras propiedades correlacionadas se encontró (utilizando como herramienta estadística al coeficiente de Spearman) que: el cociente masa luminosidad correlaciona con el tiempo de cruce adimensional, como así también éste último con el redshift medio de los grupos. No correlacionan las propiedades luminosidad del grupo con la distancia, ni ésta con el radio proyectado.

El catálogo principal de CGs presentado en este trabajo es uno de los más cercanos y más brillantes, mientras que posee el radio proyectado y la distancia entre partículas más grande que los otros catálogos de CGs. De acuerdo a la estadística de Tremaine-Richstone los CGs del 2MASS son proclives a tener la galaxia más brillante del grupo anormalmente brillante en comparación con los otros miembros de los grupos.

## 4.1 Trabajo Futuro

De lo expresado en este trabajo, se cuenta con la muestra de CGs filtrados en velocidad más grande en la actualidad. Sin embargo, esta muestra fue construida a partir de una submuestra de compactos identificados en proyección para los cuales se pudo encontrar en la literatura las velocidades radiales de todos sus miembros. Esta submuestra de compactos en proyección es sólo el 58% de los grupos identificados bidimensionalmente.

Es decir, que existe la posibilidad de ampliar la muestra de grupos filtrados en velocidad completando los datos espectroscópicos de las galaxias que no los poseen a través de observaciones futuras.

En este sentido, ya se ha comenzado con la medición de velocidades radiales de galaxias miembros de los grupos en proyección que no poseían todos sus miembros con redshifts disponibles. Durante el mes de octubre de 2010 se tomaron espectros de 15 de esas galaxias con el telescopio de 2,15 mts del observatorio CASLEO ( Complejo Astronómico el Leoncito), en la provincia de San Juan. Es el objetivo seguir realizando mediciones de velocidades radiales hasta lograr completar la muestra.

Por otro lado, dado que se encontró fuerte evidencia de que las galaxias brillantes de la muestra *v2MCG* son anormalmente brillantes, se profundizará en el estudio de tales galaxias con el objeto de determinar si tal abrillantamiento es debido a una formación estelar inesperadamente alta, o a la presencia de núcleos activos, u otra evidencia de fusiones recientes.

# Apéndice A

## TABLAS ADICIONALES

Cuadro A.1: Grupos Compactos identificados en proyección en el 2MASS XSC

ID	RA (2000)	DEC (2000)	N	$\mu_K$	$\theta_G$	$K_b$	$K_G$	cross-ID	$N_z$	$\Delta v$	out
	[hh:mm:ss]	[dd:mm:ss]		$[\frac{\text{mag}}{\text{arcsec}^2}]$	[arcmin]	[mag]	[mag]			[km s <sup>-1</sup> ]	
1	20:21:26	-15:09:02	4	23.95	11.71	10.57	9.98	----	3	1826	----
2	00:54:47	28:44:13	4	21.77	3.96	10.54	10.15	----	2	4040	x
3	10:25:07	28:03:09	4	21.84	5.07	10.14	9.69	----	4	390	----
4	17:37:56	22:42:11	4	22.13	5.34	10.51	9.86	----	3	115	----
5	14:07:45	-37:19:13	6	22.78	7.38	10.25	9.81	----	4	668	----
6	09:04:22	21:58:27	4	23.64	13.26	10.43	9.40	RSCG 28	4	7151	x
7	02:01:25	31:53:35	4	22.70	10.22	9.90	9.02	----	2	205	----
8	17:00:25	22:55:34	4	23.61	16.78	9.06	8.86	----	4	11928	x
9	03:25:22	-06:09:30	4	22.12	5.85	10.44	9.66	----	4	361	----
10	11:45:10	19:59:53	4	21.60	4.28	10.17	9.81	----	4	9781	x
11	09:33:04	-05:48:04	5	23.94	13.76	9.93	9.62	----	4	12534	----
12	15:10:20	-02:12:30	4	22.62	6.50	10.43	9.92	----	4	26970	x
13	05:15:07	-72:09:04	4	22.98	7.66	10.34	9.93	----	3	3441	x
14	10:18:37	-18:09:23	4	23.82	20.88	8.91	8.60	----	4	16353	x
15	11:50:10	50:28:32	6	23.42	10.49	10.46	9.69	----	5	9646	----
16	07:07:14	44:50:45	4	22.72	8.26	10.40	9.51	KTG 13	3	9551	x
17	19:51:59	-30:49:31	4	20.22	3.90	9.47	8.64	HCG 86	4	777	----
18	09:50:00	12:48:01	6	23.83	13.57	10.41	9.54	KTG 27	6	43707	----
19	15:36:22	43:29:29	5	22.19	9.19	9.62	8.75	----	5	441	----
20	02:07:39	02:08:30	5	22.31	7.60	10.40	9.28	HCG 15	5	3442	----
21	08:23:38	-77:49:02	4	21.35	5.22	10.25	9.14	----	3	163	----
22	21:51:44	03:00:25	6	23.44	10.35	10.35	9.74	----	2	467	----
23	21:27:34	-60:52:20	5	22.01	5.89	10.41	9.53	SCG 2123-6105	4	13224	----
24	23:06:01	27:38:41	4	23.39	9.78	10.34	9.81	----	4	12995	x
25	11:42:10	10:18:52	6	21.84	8.82	9.63	8.48	HCG 58, UZC 144	6	29006	----
26	16:28:18	81:30:04	4	23.99	12.66	10.34	9.85	----	2	4105	x
27	02:42:05	-15:04:36	4	21.03	3.59	10.57	9.63	SCG 19	3	148	----
28	03:46:31	-04:12:39	6	23.35	29.14	8.18	7.40	----	6	1683	----
29	12:24:21	07:14:17	6	23.02	40.22	6.79	6.37	----	6	3519	----
30	18:53:11	-56:43:20	4	23.20	8.16	10.45	10.01	----	3	6117	x
31	01:56:35	05:48:45	5	23.96	29.30	8.36	8.00	----	5	1116	----
32	20:17:25	-70:41:58	4	22.94	28.04	7.77	7.07	----	4	1075	----
33	07:23:50	58:01:56	4	23.03	14.38	9.42	8.61	UZC-CG 59	4	8831	x
34	13:29:27	16:43:42	4	23.99	11.68	10.28	10.03	----	3	28034	x
35	13:53:01	-28:27:48	5	21.08	7.27	8.54	8.15	----	5	509	----
36	16:41:46	57:50:25	4	22.62	8.40	9.84	9.37	----	3	172	----
37	22:34:19	05:49:09	5	23.15	7.54	10.46	10.14	----	4	42156	----
38	02:36:55	07:22:28	4	23.38	14.37	9.48	8.96	USGC U136	4	614	----
39	22:58:09	26:07:30	5	22.17	8.95	9.25	8.79	UZC-CG 282	5	429	----
40	12:57:32	-39:40:59	4	23.25	14.84	9.01	8.76	----	4	12281	x
41	03:07:29	-66:48:22	4	23.48	16.76	9.55	8.73	SCG 0306-6659	4	363	----
42	14:19:46	17:53:15	4	22.28	6.63	10.39	9.54	----	3	128	----
43	03:37:31	-05:01:17	4	23.59	13.17	10.19	9.36	----	3	6649	x
44	20:03:14	-56:00:10	4	21.62	12.97	8.01	7.43	----	4	227	----
45	00:56:42	-52:56:40	4	21.29	5.71	9.50	8.88	----	4	1062	----
46	00:41:44	25:35:53	4	23.92	18.08	9.29	9.01	----	2	9472	x
47	14:18:59	-26:43:20	5	23.77	14.01	9.87	9.41	----	5	11286	----
48	00:15:07	-07:19:27	6	23.80	26.12	8.77	8.09	----	6	5723	----
49	00:27:09	-01:44:46	4	22.63	7.51	10.43	9.62	----	3	21322	x
50	10:50:11	38:00:15	4	22.74	6.29	10.54	10.12	----	2	2103	x

ID	RA (2000)	DEC (2000)	$N$	$\mu_K$	$\theta_G$	$K_b$	$K_G$	cross-ID	$N_z$	$\Delta v$	out
51	02:00:02	23:41:02	4	22.77	9.61	9.89	9.23	----	3	103	----
52	17:22:30	74:21:29	4	19.60	1.46	10.56	10.15	----	3	1854	----
53	04:51:45	-03:52:38	4	22.83	8.34	10.14	9.60	----	4	186	----
54	13:59:33	-24:18:20	6	22.90	7.62	10.33	9.86	----	5	3726	----
55	12:19:50	47:26:09	4	23.72	91.04	5.59	5.29	----	4	579	----
56	22:55:22	-33:54:22	4	20.21	2.39	10.21	9.69	----	4	430	----
57	11:41:52	20:18:43	4	22.90	7.56	10.26	9.88	----	4	14300	x
58	11:26:02	57:01:37	4	22.68	9.38	9.45	9.19	----	4	15033	x
59	23:37:57	-68:24:30	4	22.12	4.25	10.56	10.35	----	1	0	----
60	21:57:45	-28:45:08	4	22.30	7.91	9.61	9.19	----	3	2200	x
61	04:49:01	-06:27:26	4	23.54	20.46	8.95	8.36	----	4	11162	x
62	02:55:47	-14:13:57	4	20.46	3.40	9.40	9.17	----	3	1105	----
63	01:13:55	-31:48:02	4	21.15	7.30	8.79	8.21	SCG 1	4	633	----
64	03:03:54	-15:35:22	6	23.32	16.13	9.23	8.65	HCG 22, SCG 2, RSCG 20	6	12230	----
65	04:17:24	-60:13:16	4	23.47	14.99	9.21	8.96	----	3	17980	x
66	13:27:08	-11:50:07	4	22.94	8.40	10.40	9.69	----	4	10282	x
67	12:43:17	11:25:08	5	22.16	45.78	5.81	5.23	----	5	1006	----
68	14:59:34	16:41:25	4	22.49	6.31	10.23	9.87	----	4	5449	x
69	07:59:17	59:08:52	4	21.99	5.68	10.02	9.60	UZC-CG 64	2	31	----
70	12:48:00	-01:39:31	4	20.55	2.49	10.28	9.95	----	2	23621	x
71	04:37:43	-51:24:18	5	22.36	5.88	10.22	9.88	----	1	0	----
72	10:58:06	24:17:03	5	23.85	14.53	10.01	9.41	----	5	6176	----
73	07:40:56	55:25:55	4	19.38	1.73	9.90	9.56	----	4	807	----
74	15:34:37	56:32:47	4	23.35	19.28	8.77	8.30	KTG 63	4	11192	x
75	02:05:04	09:52:01	4	23.42	8.52	10.38	10.14	----	1	0	----
76	07:26:32	85:37:41	4	22.71	22.30	7.74	7.34	----	4	505	----
77	00:42:17	-23:29:22	5	23.87	17.25	9.96	9.06	SCG 10, SCG 0040-2350, USGC S026, RSCG 04	5	12538	----
78	19:40:44	-70:21:34	4	23.79	10.59	10.57	10.04	----	3	65	----
79	00:39:24	00:52:28	4	21.00	5.58	9.33	8.63	HCG 007, UZC-CG 9, USGC U024	4	294	----
80	22:28:33	16:49:47	7	23.35	12.72	9.90	9.20	----	2	104	----
81	16:12:50	33:02:06	4	21.73	4.32	10.51	9.93	----	4	240	----
82	13:06:50	-40:22:49	4	22.20	10.29	8.83	8.51	HDCE 0761	4	278	----
83	13:52:16	02:20:05	4	20.74	3.42	9.80	9.44	----	4	92	----
84	10:51:45	03:43:42	4	23.06	9.72	9.92	9.50	----	3	16892	x
85	23:47:27	-02:18:37	5	21.38	5.23	10.07	9.16	HCG 97, RSCG 87	5	929	----
86	01:07:30	-46:52:03	4	21.62	6.25	9.43	9.01	----	4	3340	x
87	06:24:40	64:39:28	4	23.57	18.83	9.07	8.57	UZC-CG 46,HDCE 0399	3	99	----
88	06:45:46	-55:32:16	4	22.20	4.72	10.56	10.20	----	2	103	----
89	06:10:00	-47:37:37	8	23.17	11.84	10.18	9.17	SCG 0608-4734, SCG 0608-476	6	791	----
90	15:37:27	-16:35:35	4	20.23	3.54	9.23	8.86	----	3	397	----
91	12:19:31	30:18:13	4	23.57	10.52	10.16	9.83	----	4	11038	x
92	23:04:36	-33:58:42	4	23.88	9.78	10.54	10.30	----	4	23623	x
93	09:46:07	03:05:20	4	22.66	8.13	10.13	9.48	USGC U256	3	58	----
94	11:32:17	00:48:45	4	23.93	15.59	10.03	9.34	----	4	14536	x
95	22:03:28	12:38:56	4	20.15	2.66	9.83	9.40	WBL 677	4	990	----
96	21:17:01	-42:19:38	4	22.32	9.77	9.46	8.74	SCG 2113-4235	4	256	----
97	23:14:01	24:55:56	4	23.11	9.82	9.87	9.52	----	2	398	----
98	00:18:38	-08:29:55	4	23.33	7.71	10.54	10.27	----	2	25908	x
99	15:34:43	23:29:25	4	23.21	9.77	9.94	9.64	----	4	21624	x
100	01:38:08	-39:58:25	4	23.62	11.72	10.12	9.65	----	4	14691	x

ID	RA (2000)	DEC (2000)	$N$	$\mu_K$	$\theta_G$	$K_b$	$K_G$	cross-ID	$N_z$	$\Delta v$	out
101	19:00:04	59:11:59	4	23.48	9.11	10.31	10.05	---	1	0	---
102	00:10:30	-46:26:12	4	22.05	6.83	9.60	9.25	SCG 0007-4642, KTS 01	3	3710	x
103	23:28:18	32:25:09	4	21.58	7.15	9.18	8.68	---	4	734	---
104	00:57:48	-05:02:22	6	22.81	11.37	10.20	8.90	---	6	830	---
105	10:00:01	-19:34:37	4	22.74	18.18	8.18	7.81	HCG 42	4	264	---
106	11:09:46	21:46:22	4	21.52	4.81	10.01	9.49	---	4	225	---
107	22:46:45	-71:17:01	5	22.78	8.23	10.12	9.57	---	4	21563	x
108	02:02:01	21:04:43	4	23.86	10.17	10.51	10.19	---	1	0	---
109	14:03:51	09:33:59	5	21.59	5.52	10.42	9.26	---	5	18455	---
110	20:52:24	-05:45:16	4	22.18	7.69	9.85	9.13	HCG 88	4	235	---
111	13:24:24	30:58:41	8	23.33	12.00	10.05	9.30	---	8	7886	---
112	03:38:55	-18:27:36	5	22.87	38.98	6.83	6.29	---	5	3712	---
113	15:28:06	42:54:37	4	23.27	11.66	10.00	9.31	---	4	22336	x
114	02:09:49	-10:13:37	5	22.82	17.94	9.04	7.92	HCG 16, USGC S077, RSCG 19	5	343	---
115	20:02:27	-32:56:44	4	23.85	11.52	10.38	9.91	---	3	91	---
116	00:38:38	-24:21:45	5	23.86	10.79	10.54	10.07	---	5	22455	---
117	13:41:31	55:40:02	4	20.85	3.56	10.35	9.47	---	4	4418	x
118	13:45:54	56:38:22	4	22.45	5.00	10.56	10.32	---	4	21783	x
119	14:58:09	-19:10:04	4	23.41	23.18	8.48	7.96	---	4	236	---
120	11:42:51	26:31:54	4	22.88	9.91	10.06	9.27	---	4	778	---
121	00:27:05	11:37:12	5	23.76	9.76	10.46	10.18	---	2	63	---
122	03:03:50	-12:02:25	4	21.52	8.45	8.73	8.26	SCG 3	4	721	---
123	19:49:37	-54:12:35	4	21.90	5.05	10.52	9.76	---	3	6503	x
124	15:14:31	-14:25:49	4	23.77	29.26	8.25	7.81	USGC S243	4	5525	x
125	01:36:54	-13:58:18	4	21.21	3.38	10.50	9.93	---	3	881	---
126	14:30:38	11:55:54	4	21.99	6.76	9.57	9.21	---	4	9398	x
127	20:04:16	-26:24:49	4	23.17	12.36	9.92	9.08	AM 2001-263	2	2491	x
128	22:36:23	-24:18:42	5	21.25	4.24	10.30	9.48	---	5	1528	---
129	00:28:02	30:47:37	5	22.09	5.47	10.54	9.77	---	2	32	---
130	20:43:41	-26:34:43	4	21.45	3.81	10.45	9.92	---	4	500	---
131	02:25:35	36:56:56	4	20.40	2.16	10.45	10.09	---	2	144	---
132	22:26:13	25:06:22	4	23.76	10.46	10.41	10.04	---	2	76	---
133	21:08:25	-29:45:32	4	23.48	14.46	9.57	9.05	SCG 2105-2957	4	129	---
134	11:22:21	24:17:54	5	20.97	4.45	10.07	9.10	HCG 51, UZC-CG 138	5	1362	---
135	12:51:39	-19:51:32	4	21.31	3.41	10.26	10.02	---	3	581	---
136	02:04:19	25:55:58	4	23.84	12.64	9.95	9.70	---	1	0	---
137	21:08:42	-39:51:55	4	20.02	2.42	10.38	9.47	---	4	5888	x
138	13:52:15	-10:36:12	5	21.51	4.02	10.53	9.86	---	4	461	---
139	01:58:18	08:18:17	4	23.72	12.86	9.86	9.54	---	1	0	---
140	11:55:29	58:24:48	4	23.51	15.78	9.60	8.89	---	4	12959	x
141	22:50:41	31:18:25	5	23.91	15.47	9.99	9.33	---	3	458	---
142	01:25:28	14:54:25	4	22.72	8.74	9.99	9.39	RSCG 9, UZC-CG 024	4	9423	x
143	12:04:19	31:09:30	4	23.83	11.70	10.33	9.86	Rose 08, KTG 41	4	42003	x
144	13:08:15	34:01:53	4	23.41	10.77	10.50	9.62	---	4	320	---
145	12:47:31	-09:34:41	5	23.90	11.26	10.33	10.01	---	3	15045	---
146	06:20:14	-69:13:10	5	23.72	10.79	10.44	9.92	---	3	47	---
147	11:35:11	51:12:03	4	21.94	4.76	10.41	9.92	---	4	711	---
148	12:52:12	-09:28:48	4	21.04	2.86	10.55	10.13	---	2	26368	x
149	08:23:49	21:01:07	4	21.82	5.97	9.72	9.32	---	4	23063	x
150	14:45:42	-11:47:00	4	23.40	16.27	9.36	8.71	---	4	3713	x

ID	RA (2000)	DEC (2000)	$N$	$\mu_K$	$\theta_G$	$K_b$	$K_G$	cross-ID	$N_z$	$\Delta v$	out
151	23:33:51	24:58:23	4	22.56	5.79	10.37	10.12	---	1	0	---
152	23:38:24	15:49:06	4	23.60	18.24	8.91	8.66	UZC-CG 32, USGC U100	4	16422	x
153	02:05:45	29:56:51	4	23.93	20.26	9.49	8.77	---	3	220	---
154	12:20:01	27:38:29	4	22.62	6.46	10.27	9.94	---	4	21694	x
155	16:37:53	36:03:19	4	22.45	7.62	9.91	9.41	---	4	461	---
156	03:30:15	-47:57:44	4	23.84	12.60	10.51	9.71	SCG 0328-4807	4	7116	x
157	15:10:58	05:45:49	4	20.61	2.48	10.30	10.01	---	4	4479	x
158	09:47:34	72:54:15	4	23.43	9.86	10.50	9.83	---	2	314	---
159	20:48:00	-19:52:16	4	22.67	7.45	10.32	9.68	HCG 87, KTS 63, SCG 2045-200	4	1725	---
160	09:27:57	30:00:35	4	21.21	3.56	10.24	9.83	---	4	881	---
161	09:49:39	34:40:48	4	22.67	6.56	10.44	9.95	---	3	86	---
162	18:39:43	55:41:51	5	23.79	10.97	10.30	9.96	---	1	0	---
163	17:10:30	48:22:05	4	22.43	5.45	10.37	10.12	---	1	0	---
164	14:27:27	11:19:18	4	22.51	6.47	10.45	9.83	---	4	920	---
165	01:07:56	-72:28:19	5	23.79	14.22	9.75	9.40	---	2	409	---
166	20:56:38	-18:32:33	4	21.87	4.89	10.21	9.80	---	2	171	---
167	10:28:38	79:51:01	4	21.80	4.49	10.53	9.91	---	2	245	---
168	11:58:36	28:17:44	4	23.12	15.00	8.93	8.61	---	4	4856	x
169	09:38:55	-04:51:05	5	18.60	1.74	9.73	8.77	HCG 40	5	435	---
170	04:23:07	-51:33:58	4	23.61	12.69	10.00	9.46	---	2	6619	x
171	00:18:50	10:32:04	4	23.78	10.30	10.40	10.09	---	1	0	---
172	13:11:09	29:41:10	4	23.70	13.43	10.00	9.43	UZC-CG 182	4	922	---
173	12:27:47	12:11:14	5	23.10	15.71	8.99	8.49	---	5	26016	---
174	10:39:43	-23:49:47	4	23.32	11.88	9.97	9.32	---	4	335	---
175	12:13:21	50:44:07	5	21.46	4.76	9.89	9.44	---	4	16166	x
176	12:55:08	08:08:48	4	23.36	16.67	9.06	8.62	---	3	251	---
177	10:44:18	-25:21:35	4	23.82	10.69	10.35	10.04	---	4	20009	x
178	11:20:21	03:16:29	4	23.60	37.34	7.54	7.11	---	4	1370	---
179	11:35:35	54:55:49	4	20.16	2.34	9.98	9.68	---	4	11464	x
180	13:54:26	-26:32:08	4	21.33	4.89	10.30	9.26	AM 1351-261	4	7782	x
181	09:42:40	04:20:29	4	23.67	10.62	10.22	9.91	---	4	18153	x
182	14:03:40	54:51:56	4	23.30	62.58	5.94	5.69	---	3	205	---
183	00:00:59	-43:22:47	5	22.16	6.07	10.14	9.62	---	5	12648	---
184	19:52:43	-60:52:23	4	23.74	13.71	9.81	9.43	---	2	7218	x
185	05:30:10	76:39:11	4	23.99	12.40	10.29	9.89	---	1	0	---
186	13:06:04	-37:35:55	5	20.32	2.92	10.14	9.36	---	5	14895	---
187	09:08:12	60:03:35	4	23.95	51.24	7.17	6.77	---	4	19575	x
188	05:16:41	-54:05:02	4	23.26	9.74	10.54	9.69	---	4	12897	x
189	11:55:01	-06:01:45	4	23.07	7.22	10.52	10.14	---	3	9333	x
190	20:47:22	00:23:32	6	21.83	11.04	8.89	7.99	---	6	664	---
191	02:18:59	-06:46:08	6	23.69	24.38	8.99	8.13	USGC 5083	6	7677	---
192	00:34:15	-21:26:51	5	21.32	3.60	10.46	9.91	HCG 4, SCG2 0031-2143, SCG 5	5	11426	---
193	16:21: 0	36:23:39	5	23.91	11.67	10.32	9.95	---	5	14514	---
194	07:04:34	64:03:45	4	22.99	11.27	9.55	9.10	---	4	156	---
195	02:09:41	-06:58:51	5	22.60	7.10	10.24	9.71	---	4	12004	x
196	09:34:23	10:09:24	4	23.29	19.20	8.86	8.25	RSCG 33	4	802	---
197	14:45:16	38:46:02	4	21.77	4.71	10.34	9.78	Arp 297	4	13373	x
198	18:00:33	28:43:35	4	23.21	8.61	10.45	9.90	---	2	1985	x
199	12:19:22	05:57:42	4	21.67	16.45	7.40	6.96	---	4	733	---
200	17:03:57	24:13:09	4	22.45	5.97	10.34	9.94	---	4	9186	x

ID	RA (2000)	DEC (2000)	$N$	$\mu_K$	$\theta_G$	$K_b$	$K_G$	cross-ID	$N_z$	$\Delta v$	out
201	11:44:06	33:30:45	4	21.25	3.78	10.16	9.74	---	4	296	---
202	11:16:12	18: 7:46	4	21.95	21.98	7.11	6.61	---	4	604	---
203	01:24:56	32:10:48	4	23.86	15.65	10.04	9.26	---	4	5884	x
204	06:43:41	-74:14:45	4	21.37	6.09	9.54	8.81	---	4	652	---
205	13:59:29	-03:07:02	5	23.75	11.29	10.27	9.86	---	5	471	---
206	03:52:11	-09:02:48	4	22.99	8.61	10.27	9.68	---	3	2152	x
207	09:05:05	18:21:41	6	23.25	17.79	9.01	8.37	---	6	5444	---
208	11:29:07	09:14:12	5	23.49	29.80	8.02	7.49	---	5	5285	---
209	21:08:40	-43:27:58	4	21.89	5.44	10.32	9.58	---	4	8188	x
210	19:14:47	-54:36:26	5	23.00	13.64	9.48	8.70	---	5	2857	---
211	23:15:23	18:58:35	5	21.84	9.63	9.00	8.29	HCG 93, USGC U837, Arp 99	5	4144	---
212	23:00:44	16:31:54	4	23.69	20.88	8.89	8.46	---	3	9307	x
213	05:47:51	-19:57:36	5	23.85	11.62	10.32	9.90	---	3	8482	---
214	02:14:35	-07:24:16	5	23.51	11.32	10.20	9.61	---	4	26875	x
215	23:17:36	29:02:36	4	21.25	4.68	9.83	9.27	---	3	510	---
216	01:43:24	-34:14:40	4	23.20	11.09	10.11	9.35	SCG 0141-3429	4	372	---
217	11:09:09	26:38:34	5	22.89	7.95	10.42	9.76	---	5	17069	---
218	00:19:48	-51:12:25	4	22.63	7.62	10.18	9.59	SCG 0017-5129	4	6826	x
219	02:45:19	-17:41:34	7	23.33	19.23	9.75	8.28	HCG 21	7	3657	---
220	14:19:14	35:08:15	4	22.52	6.12	10.34	9.96	---	4	112	---
221	03:07:05	-09:35:15	4	21.75	7.03	9.87	8.88	HCG 23, SCG 11	4	732	---
222	00:01:34	13:11:05	5	23.47	11.38	9.88	9.56	HCG 100	4	344	---
223	13:24:31	14:01:36	4	22.75	11.94	9.37	8.74	---	4	483	---
224	20:51:36	-57:05:17	4	23.99	24.18	8.83	8.44	---	4	15721	x
225	09:16:30	30:52:02	4	22.64	8.38	9.82	9.39	---	4	161	---
226	00:00:43	28:23:18	5	19.92	2.34	10.41	9.44	HCG 99, KTG 83	5	849	---
227	11:31:51	-09:41:43	4	21.16	4.00	10.03	9.52	---	3	169	---
228	07:57:12	62:25:38	4	21.14	3.07	10.43	10.07	---	1	0	---
229	20:45:22	-38:09:43	4	22.04	4.81	10.35	10.00	---	3	40608	x
230	14:23:37	06:35:55	4	23.04	7.10	10.57	10.15	---	3	7996	x
231	12:07:13	-25:47:32	5	23.65	12.20	10.06	9.59	---	5	16099	---
232	01:27:31	-35:39:44	4	23.43	12.48	9.82	9.32	---	4	4885	x
233	00:35:23	-59:43:33	4	23.25	7.84	10.37	10.14	---	1	0	---
234	14:28:02	25:53:33	4	21.86	8.31	9.33	8.63	---	4	470	---
235	05:57:47	-38:21:15	5	23.67	13.11	9.91	9.45	---	4	3755	x
236	03:05:23	-05:39:46	5	23.32	10.07	10.22	9.67	---	4	14175	x
237	03:17:44	-10:19:56	4	22.58	6.97	10.06	9.73	---	4	929	---
238	00:28:54	02:45:34	6	22.97	18.04	8.58	8.06	UZC 007	6	1259	---
239	12:29:58	56:45:51	4	23.12	8.31	10.30	9.90	---	4	15395	x
240	13:54:33	40:22:21	4	22.56	27.56	7.65	6.73	HCG 68, KTG 50, RSCG 71	4	225	---
241	18:27:39	-60:54:30	4	23.83	12.68	10.45	9.69	---	2	59	---
242	14:20:30	03:36:55	5	23.70	47.06	7.50	6.71	Arp 286	5	274	---
243	21:56:00	-01:34:36	4	22.93	8.88	9.86	9.56	---	4	6956	x
244	15:51:23	67:06:50	7	23.17	11.44	10.13	9.25	---	3	627	---
245	23:51:24	20:20:29	4	23.66	29.38	8.39	7.69	KTG 82, USGC U857, KPG 592	4	1424	---
246	11:57:06	55:17:50	4	22.44	23.40	7.42	6.97	---	4	354	---
247	03:20:43	-01:03:19	7	22.30	6.37	10.52	9.65	HCG 25	7	5991	---
248	22:05:29	16:44:27	5	23.50	12.12	10.05	9.45	---	3	7040	---
249	14:06:24	-33:03:50	4	22.31	5.08	10.50	10.15	---	2	271	---
250	23:13:54	-01:39:50	4	24.00	12.55	10.42	9.88	---	3	6119	x



ID	RA (2000)	DEC (2000)	$N$	$\mu_K$	$\theta_G$	$K_b$	$K_G$	cross-ID	$N_z$	$\Delta v$	out
251	04:02:58	-04:25:27	4	23.69	8.72	10.56	10.36	----	1	0	----
252	11:56:43	32:14:30	6	23.96	26.45	9.05	8.22	----	6	353	----
253	10:51:52	50:56:02	5	23.14	11.22	10.08	9.26	----	5	1168	----
254	14:00:33	-02:51:35	6	21.73	6.12	9.82	9.16	----	6	748	----
255	06:03:55	-32:06:38	4	23.16	9.23	10.09	9.71	----	4	820	----
256	15:02:27	11:54:00	4	22.67	6.01	10.49	10.15	----	4	3349	x
257	07:45:15	53:00:09	4	23.43	8.71	10.45	10.10	----	1	0	----
258	16:01:34	17:57:54	5	22.66	8.35	9.90	9.42	----	5	9988	----
259	13:50:16	33:41:32	4	23.29	13.56	9.60	9.00	USGC U569	4	13923	x
260	22:24:47	16:37:23	5	23.65	10.18	10.46	9.98	----	1	0	----
261	21:53:08	15:33:27	6	22.47	7.86	10.52	9.37	USGC U804	3	4269	----
262	10:22:32	19:41:35	4	23.69	35.64	7.79	7.30	USGC U300	4	10651	x
263	00:31:02	05:08:50	6	22.53	8.48	10.18	9.26	----	3	432	----
264	23:23:01	29:11:43	6	23.49	14.44	10.27	9.06	UZC-CG 288	4	454	----
265	21:39:40	08:53:22	4	22.64	6.68	10.24	9.89	----	2	59	----
266	23:53:35	07:59:10	5	22.68	15.93	9.15	8.04	----	5	554	----
267	13:02:17	75:23:37	4	20.87	2.99	10.15	9.86	----	1	0	----
268	12:37:12	-20:01:58	4	22.72	5.80	10.51	10.27	----	1	0	----
269	16:20:4	73:48:03	4	23.42	8.77	10.42	10.07	----	1	0	----
270	23:17:48	07:26:02	4	22.40	6.87	10.00	9.58	----	2	8827	----
271	00:59:47	-04:51:32	6	23.72	13.73	10.12	9.41	----	5	15693	----
272	20:00:59	-47:04:38	4	20.19	2.92	10.02	9.23	KTS 61, Rose 38, NGC6845	4	714	----
273	21:16:27	-00:46:30	5	22.49	6.15	10.29	9.91	----	4	12564	x
274	15:48:08	69:25:45	4	22.00	5.76	10.45	9.57	----	4	3799	x
275	11:13:15	72:56:09	4	22.08	7.21	9.44	9.16	----	2	291	----
276	22:20:20	-15:51:39	5	23.40	11.01	10.01	9.57	----	5	28836	----
277	00:43:14	-50:09:22	4	23.73	11.32	10.06	9.83	----	3	15725	x
278	13:53:01	69:15:02	4	22.76	7.56	10.15	9.74	----	3	164	----
279	01:26:05	34:41:39	4	22.08	10.63	9.21	8.32	HCG 10, RSCG 12	4	529	----
280	04:59:25	-11:08:00	6	22.60	18.32	9.03	7.66	KTS 28	6	798	----
281	20:29:11	-22:37:24	4	22.15	5.82	9.98	9.70	----	2	5798	x
282	21:04:27	-35:25:40	5	23.06	9.98	10.13	9.44	SCG 2101-3536	3	1645	----
283	07:57:57	25:10:08	4	23.17	10.86	9.99	9.36	----	4	13725	x
284	23:54:06	28:27:17	5	22.22	6.33	10.20	9.59	----	2	306	----
285	13:22:02	-17:21:16	5	22.11	6.15	9.95	9.54	----	5	602	----
286	23:43:24	27:21:11	4	22.35	5.95	10.52	9.84	----	3	9611	x
287	23:28:03	-67:47:18	4	21.54	6.04	9.82	9.01	----	4	408	----
288	13:13:19	51:14:24	4	22.33	5.29	10.42	10.08	----	4	9349	x
289	10:37:15	-26:14:56	4	22.59	10.66	9.29	8.82	----	4	563	----
290	13:01:58	27:37:34	4	21.90	5.07	10.03	9.75	----	4	1354	----
291	11:13:53	-14:08:50	4	22.90	8.66	9.81	9.58	----	3	295	----
292	13:55:08	-28:22:34	4	22.46	5.96	10.26	9.95	----	2	26343	x
293	01:08:58	-45:48:11	4	21.05	4.18	9.87	9.32	----	4	560	----
294	13:22:35	21:22:31	4	22.75	7.40	10.21	9.78	----	4	17964	x
295	16:04:57	23:56:45	5	21.21	4.67	9.66	9.23	----	5	6528	----
<b>medians</b>	----	----	<b>4</b>	<b>22.8</b>	<b>8.9</b>	<b>10.1</b>	<b>9.5</b>	----	<b>4</b>	<b>1354</b>	----

**References for cross-ID:** RSCG: Redshift Survey Compact Group (Barton et al., 1996); KTG: Karachentsev Isolated Triplets of Galaxies Catalogue (Karachentsev et al., 1988); HCG: Hickson Compact Group (Hickson, 1982); SCG: Southern Compact Group (Prandoni et al., 1994; Iovino, 2002); UZC-CG: Updated Zwicky Catalogue-Compact Group (Focardi & Kelm (2002); USGC: UZC/SSRS2 Group Catalogue (Ramella et al., 2002); HDCE: High-density-contrast groups - Erratum version (Crook et al., 2008); WBL: White+Bliton+Bhavsar groups (White et al., 1999); KTS: Karachentseva Triple System (Karachentseva & Karachentsev, 2000); AM: Arp+Madore Southern Peculiar Galaxies and Associations (Arp & Madore, 1987); Rose: Rose Compact Groups of Galaxies (Rose, 1977); Arp: Arp Peculiar Galaxies (Arp, 1966); KPG: Karachentsev Isolated Pairs of Galaxies Catalogue (Karachentsev, 1972)



# Bibliografía

- Abazajian K.Ñ., et al., 2009, ApJS, 182, 543
- Allam S. S., Tucker D. L., 2000, Astronomische Nachrichten, 321, 101
- Ambartsumian V. A., 1961, AJ, 66, 536
- Arp H., 1966, ApJS, 14, 1
- Arp H. C., Madore B. F., 1987, A Catalogue of Southern Peculiar Galaxies and Associations 2 volume set, Arp, H. C. & Madore, B. F., ed.
- Athanassoula E., Makino J., Bosma A., 1997, MNRAS, 286, 825
- Bahcall N. A., Harris D. E., Rood H. J., 1984, ApJL, 284, L29
- Baier F. W., Petrosyan M. B., Tiersch H., Shakhbazyan P. K., 1974, Astrophysics, 10, 202
- Baier F. W., Tiersch H., 1975, Astrophysics, 11, 146
- Barnes J. E., 1989, Nature, 338, 123
- Barton E., Geller M., Ramella M., Marzke R. O., da Costa L.Ñ., 1996, AJ, 112, 871
- Becklin E. E., 1987, in NASA Conference Publication, Vol. 2466, NASA Conference Publication, C. J. Lonsdale Persson, ed., pp. 753–756
- Beers T. C., Flynn K., Gebhardt K., 1990, AJ, 100, 32
- Bender R., 1990, A&A, 229, 441
- Binney J., Petrou M., 1985, MNRAS, 214, 449
- Bitsakis T., Charmandaris V., Le Floc'h E., Diaz-Santos T., Slater S. K., Xilouris E., Haynes M. P., 2010, ArXiv e-prints
- Bonnarel F., Fernique P., Bienaymé O., Egret D., Genova F., Louys M., Ochsenbein F., Wenger M., Bartlett J. G., 2000, A&AS, 143, 33
- Borthakur S., Yun M. S., Verdes-Montenegro L., 2006, in Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 38, American Astronomical Society Meeting Abstracts #208, pp. 96–+
- , 2010, ApJ, 710, 385
- Broming E. J., Fuse C., 2010, in Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 42, American Astronomical Society Meeting Abstracts #215, pp. 410–415

- Burbidge E. M., Burbidge G. R., 1961, *ApJ*, 134, 244
- Burbidge E. M., Sargent W. L. W., 1971, in *Study Week on Nuclei of Galaxies*, D. J. K. O'Connell, ed., pp. 351–+
- Burbidge G. R., Burbidge E. M., 1959, *ApJ*, 130, 15
- Carnevali P., Cavaliere A., Santangelo P., 1981, *ApJ*, 249, 449
- Crook A. C., Huchra J. P., Martimbeau N., Masters K. L., Jarrett T., Macri L. M., 2008, *ApJ*, 685, 1320
- de Carvalho R. R., Gonçalves T. S., Iovino A., Kohl-Moreira J. L., Gal R. R., Djorgovski S. G., 2005, *AJ*, 130, 425
- Deng X.-F., He J.-Z., Jiang P., He C.-G., Luo C.-H., Wu P., 2007, *Astrophysics*, 50, 18
- Diaferio A., Geller M. J., Ramella M., 1994, *AJ*, 107, 868
- Díaz E., Muriel H., 2005, *MNRAS*, 364, 1299
- Díaz-Giménez E., Mamon G., 2010, *MNRAS*, 409, 1227
- Díaz-Giménez E., Muriel H., Mendes de Oliveira C., 2008, *A&A*, 490, 965
- Díaz-Giménez E., Pacheco M., Mamon G., Alonso M. V., Mendes de Oliveira C., 2011, en *preparacion*
- Dressler A., 1980, *ApJ*, 236, 351
- Focardi P., Kelm B., 2002, *A&A*, 391, 35
- Górski K. M., Hivon E., Banday A. J., Wandelt B. D., Hansen F. K., Reinecke M., Bartelmann M., 2005, *ApJ*, 622, 759
- Governato F., Bhatia R., Chincarini G., 1991, *ApJL*, 371, L15
- Governato F., Tozzi P., Cavaliere A., 1996, *Astrophysical Letters Communications*, 33, 127
- Harwit M., Houck J. R., Soifer B. T., Palumbo G. G. C., 1987, *ApJ*, 315, 28
- Hickson P., 1982, *ApJ*, 255, 382
- , 1997a, *ARA&A*, 35, 357
- , 1997b, *ARA&A*, 35, 357
- Hickson P., Kindl E., Huchra J. P., 1988, *ApJ*, 331, 64
- Hickson P., Mendes de Oliveira C., Huchra J. P., Palumbo G. G., 1992, *ApJ*, 399, 353
- Hickson P., Menon T. K., Palumbo G. G. C., Persic M., 1989, *ApJ*, 341, 679
- Hickson P., Rood H. J., 1988, *ApJL*, 331, L69
- Hummel E., 1981, *A&A*, 96, 111
- Hummel E., van der Hulst J. M., Kennicutt R. C., Keel W. C., 1990, *A&A*, 236, 333
- Iovino A., 2002, *AJ*, 124, 2471
- Iovino A., de Carvalho R., Gal R., Odewahn S., Lopes P., Mahabal A., Djorgovski S., 2003, *AJ*, 125, 1660

- Iovino A., Hickson P., 1997, *MNRAS*, 287, 21
- Jarrett T. H., Chester T., Cutri R., Schneider S., Skrutskie M., Huchra J. P., 2000, *AJ*, 119, 2498
- Jones D. H., Read M. A., Saunders W., Colless M., Jarrett T., Parker Q. A., Fairall A. P., Mauch T., Sadler E. M., Watson F. G., Burton D., Campbell L. A., Cass P., Croom S. M., Dawe J., Fiegert K., Frankcombe L., Hartley M., Huchra J., James D., Kirby E., Lahav O., Lucey J., Mamon G. A., Moore L., Peterson B. A., Prior S., Proust D., Russell K., Safouris V., Wakamatsu K., Westra E., Williams M., 2009, *MNRAS*, 399, 683
- Karachentsev I. D., 1972, *Astrofizicheskie Issledovaniia Izvestiya Spetsial'noj Astrofizicheskoi Observatorii*, 7, 3
- Karachentsev V. E., Karachentsev I. D., Lebedev V. S., 1988, *Astrofizicheskie Issledovaniia Izvestiya Spetsial'noj Astrofizicheskoi Observatorii*, 26, 42
- Karachentseva V. E., Karachentsev I. D., 2000, *Astronomy Reports*, 44, 501
- Kelm B., Focardi P., Zampieri A., 2003, *ApSS*, 284, 471
- Larson R. B., Tinsley B. M., 1978, *ApJ*, 219, 46
- Lee B. C., Allam S. S., Tucker D. L., Annis J., Johnston D. E., Scranton R., Acebo Y., Bahcall N. A., Bartelmann M., Böhringer H., Ellman N., Grebel E. K., Infante L., Loveday J., McKay T. A., Prada F., Schneider D. P., Stoughton C., Szalay A. S., Vogeley M. S., Voges W., Yanny B., 2004, *AJ*, 127, 1811
- Maller A. H., McIntosh D. H., Katz N., Weinberg M. D., 2005, *ApJ*, 619, 147
- Mamon G. A., 1986, *ApJ*, 307, 426
- , 1987, *ApJ*, 321, 622
- Martinez-Badenes V., Verdes-Montenegro L., Lisenfeld U., Espada D., 2010, in *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 421, *Galaxies in Isolation: Exploring Nature Versus Nurture*, L. Verdes-Montenegro, A. Del Olmo, & J. Sulentic, ed., pp. 267–+
- Massey P., 1977, *PASP*, 89, 13
- McConnachie A. W., Patton D. R., Ellison S. L., Simard L., 2009, *MNRAS*, 395, 255
- Mendes de Oliveira C., 1995, *MNRAS*, 273, 139
- Mendes de Oliveira C., Hickson P., 1991, *ApJ*, 380, 30
- , 1994, *ApJ*, 427, 684
- Menon T. K., 1995, *MNRAS*, 274, 845
- Mirzoyan L. V., Miller J. S., Osterbrock D. E., 1975, *ApJ*, 196, 687
- Moles M., Sulentic J. W., Marquez I., 1997, *ApJL*, 485, L69+
- Palumbo G. G. C., Saracco P., Mendes de Oliveira C., Hickson P., Tornatore V., Baiesi-Pillastrini G. C., 1993, *ApJ*, 405, 413

- Peebles P. J. E., 1971, *A&A*, 11, 377
- Petrosian M. B., 1974, *Astrofizika*, 10, 471
- Petrosyan M. B., 1978, *Astrofizika*, 14, 631
- Poggianti B. M., 1997, *A&A*, 122, 399
- Pompei E., Dahlem M., Iovino A., 2007, *A&A*, 473, 399
- Ponman T. J., Bourner P. D. J., Ebeling H., Böhringer H., 1996, *MNRAS*, 283, 690
- Postman M., Geller M. J., 1984, *ApJ*, 281, 95
- Prandoni I., Iovino A., MacGillivray H. T., 1994, *AJ*, 107, 1235
- Ramella M., Geller M. J., Pisani A., da Costa L.Ñ., 2002, *AJ*, 123, 2976
- Rasmussen J., Ponman T. J., Verdes-Montenegro L., You M. S., Borthakur S., 2009, in *IAU Symposium*, Vol. 254, *IAU Symposium*, J. Andersen, J. Bland-Hawthorn, & B. Nordström, ed., pp. 56P+–
- Rasmussen J., Ponman T. J., Verdes-Montenegro L., Yun M. S., Borthakur S., 2008, *MNRAS*, 388, 1245
- Rose J. A., 1977, *ApJ*, 211, 311
- Sargent W. L. W., 1968, *ApJL*, 153, L135+
- Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, *ApJ*, 500, 525
- Shakhbazian R. K., 1996, *VizieR Online Data Catalog*, 7089, 0
- Shakhbazyan R. K., Amirkhanyan A. S., 1978, *Astrophysics*, 14, 249
- Shakhbazyan R. K., Petrosyan M. B., 1974, *Astrophysics*, 10, 6
- Skrutskie M. F., Cutri R. M., Stiening R., Weinberg M. D., Schneider S., Carpenter J. M., Beichman C., Capps R., Chester T., Elias J., Huchra J., Liebert J., Lonsdale C., Monet D. G., Price S., Seitzer P., Jarrett T., Kirkpatrick J. D., Gizis J. E., Howard E., Evans T., Fowler J., Fullmer L., Hurt R., Light R., Kopan E. L., Marsh K. A., McCallon H. L., Tam R., Van Dyk S., Wheelock S., 2006, *AJ*, 131, 1163
- Stephan M. E., 1877, *CR Acad. Sci.*, 84, 641
- Stevens J. B., Webster R. L., Barnes D. G., Pisano D. J., Drinkwater M. J., 2004, *PASA*, 21, 318
- Sulentic J. W., 1997, *ApJ*, 482, 640
- Sulentic J. W., de Mello Rabaca D. F., 1993, *ApJ*, 410, 520
- Sulentic J. W., Rabaca C. R., 1994, *ApJ*, 429, 531
- Surace J. A., Mazzarella J., Soifer B. T., Wehrle A. E., 1993, *AJ*, 105, 864
- Tiersch H., 1976, *Astronomische Nachrichten*, 297, 301
- Tovmassian H. M., Martinez O., Tiersch H., 1999, *A&A*, 348, 693
- Tremaine S. D., Richstone D. O., 1977, *ApJ*, 212, 311

- Tzanavaris P., Hornschemeier A., Gallagher S., Johnson K., Gronwall C., Immler S., Reines A., Hoversten E., Charlton J., 2010a, in *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 42, American Astronomical Society Meeting Abstracts #215, pp. 386–390
- Tzanavaris P., Hornschemeier A. E., Gallagher S. C., Johnson K. E., Gronwall C., Immler S., Reines A. E., Hoversten E., Charlton J. C., 2010b, *ApJ*, 716, 556
- Venugopal V. R., 1995, *MNRAS*, 277, 455
- Verdes-Montenegro L., Yun M. S., Borthakur S., Rasmussen J., Ponman T., 2007, *NAR*, 51, 87
- Verdes-Montenegro L., Yun M. S., Perea J., del Olmo A., Ho P. T. P., 1998, *ApJ*, 497, 89
- Verdes-Montenegro L., Yun M. S., Williams B. A., Huchtmeier W. K., Del Olmo A., Perea J., 2001, *A&A*, 377, 812
- White R. A., Bliton M., Bhavsar S. P., Bornmann P., Burns J. O., Ledlow M. J., Loken C., 1999, *AJ*, 118, 2014
- Whitmore B. C., Bell M., 1988, *ApJ*, 324, 741
- Xu C., Sulentic J. W., 1991, *ApJ*, 374, 407
- Zepf S. E., 1993, *ApJ*, 407, 448
- Zepf S. E., Whitmore B. C., 1991, *ApJ*, 383, 542









# Agradecimientos

A mi familia por bancarme emocionalmente y económicamente tantos años, y compartir conmigo todas las alegrías, tristezas, y momentos difíciles. A Lisandro por haberme bancado y por haberme ayudado a salir adelante. A mi tía Adela. A la Euge por la infinita paciencia a la hora de guiarme en este trabajo. A la Vicky y al Valotto por ayudarme en lo que necesité siempre, incondicionalmente. Al Sergio y a la Yami que siempre están cuando los necesito. A todos mis amigos y amigas que me aguantan en mis picos de depresión y también en los de felicidad extrema. A mi gata Lisa que es mi sol todos los días. Y a mi misma, por seguir adelante siempre.