

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP), ² Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET – UNLP), ³ Universidad de Concepción (Chile)

INTRODUCCIÓN

Se presentan resultados preliminares del estudio de la distribución de velocidades radiales heliocéntricas para una muestra de galaxias ubicadas en el cúmulo de Antlia. El objetivo perseguido es la caracterización de la estructura de este cúmulo que, pese a su cercanía, aún no ha sido abordada.

La concreción de este trabajo, que solo ha sido llevado a cabo en unos pocos cúmulos de galaxias (por ej., Virgo, Drinkwater et al. 2001; Fornax, Conselice et al. 2001), permitirá tener una panorámica cabal del cúmulo de Antlia, y a partir de allí obtener evidencias que develen su historia evolutiva.

OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN

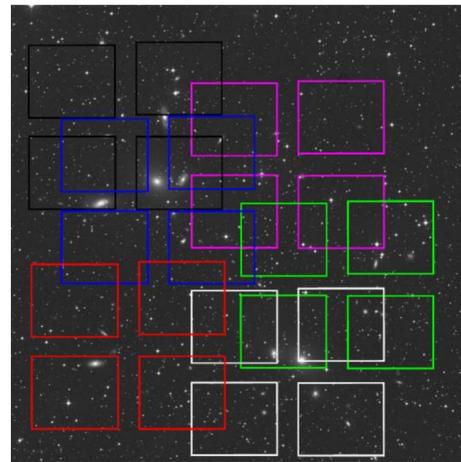
Se trabajó con observaciones espectroscópicas de la región central del cúmulo de Antlia, consistentes en seis campos (compuestos por cuatro cuadrantes) obtenidos con el espectrógrafo multiobjeto VLT-VIMOS (ver Figura bajo este recuadro). Las mismas fueron obtenidas en el marco de los programas 60.A-9050(A) y 079.B-0480(B), observados durante los primeros semestres de 2007 y 2008. Se utilizó en la observación la red HR_Blue, con ranuras de 1" de ancho. La cobertura espectral abarca 3700-6600 Å, y la resolución es ~2.5 Å.

La reducción se realizó mediante el paquete de tareas ESOREX, en el modo usual para este tipo de datos. La extracción de los espectros se realizó mediante APALL, mientras que para la medición de las velocidades radiales se utilizó FXCOR, ambas tareas de IRAF. Se utilizaron como espectros de referencia los modelos de poblaciones estelares simples de la librería MILES (Sánchez-Blázquez et al. 2006).

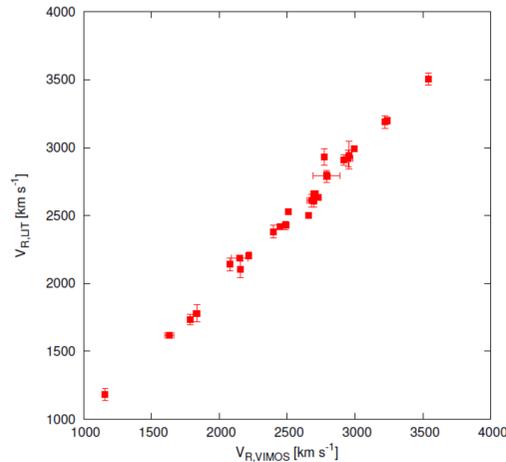
EL CÚMULO DE ANTLIA

El cúmulo de Antlia ($l = 273^\circ$, $b = 19^\circ$, $d \sim 35$ Mpc) es el tercer cúmulo de galaxias "rico" más cercano a nosotros, después de Virgo y Fornax. Pese a esto, Antlia no había sido estudiado en profundidad hasta que iniciáramos nuestro actual proyecto (e.g., Dirsch et al. 2003, Bassino et al. 2008, Smith Castelli et al. 2008a,b, 2012, Caso et al. 2013, 2014).

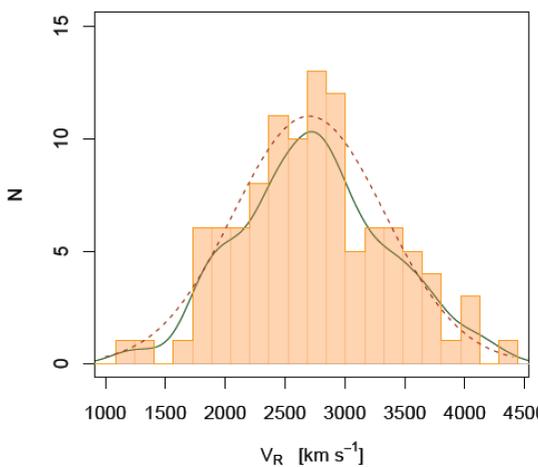
Antlia está conformado por dos grupos, cada uno dominado por una galaxia gE (NGC 3258 y NGC 3268). Su población de galaxias está dominada por galaxias de tipo temprano, principalmente elípticas enanas (Smith Castelli et al. 2008a, 2008b, 2012, Calderón et al. 2014). Resultados hallados en la literatura (Smith Castelli 2008, Tesis Doctoral, y estudios previos en rayos X) sugieren que las galaxias en torno a NGC 3268 podrían ser consideradas como un "cúmulo pequeño", y aquellas en torno a NGC 3258 como un "grupo".



Ubicación de los seis campos de VLT-VIMOS sobre una imagen en el filtro R de la región central del cúmulo de Antlia, obtenida de POSS. El Norte apunta hacia arriba, y el Este a la izquierda.



Para aquellas galaxias con determinaciones previas de velocidades heliocéntricas, se compararon las mediciones realizadas en este trabajo, con aquellas presentes en la literatura. En todos los casos se alcanzó un buen acuerdo.



Histograma de $V_{R,h}$ para la muestra de galaxias medidas en este trabajo, aumentada por datos de la literatura. En total, se ha trabajado con 106 galaxias, que abarcan el rango $1200 < V_{R,h} [\text{km s}^{-1}] < 4300$. El paso utilizado fue 150 km s^{-1} .

La curva continua verde representa la distribución suavizada. La curva marrón a trazos muestra el mejor ajuste por mínimos cuadrados de una distribución Gaussiana.

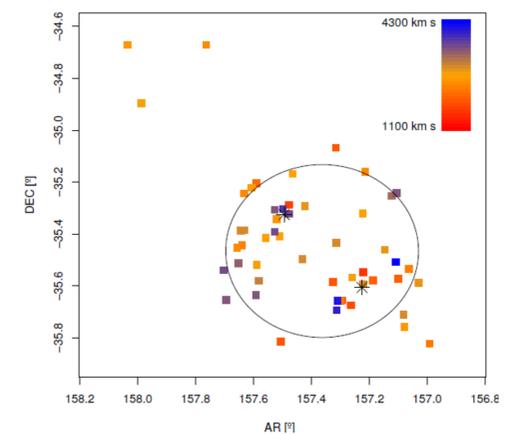
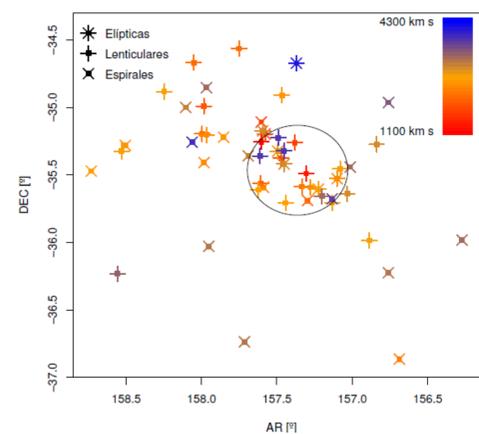
La dispersión de velocidades de esta distribución resultó ser $\sim 600 \text{ km s}^{-1}$. Si bien esta dispersión es bastante superior a lo que uno esperaría, en comparación con los valores obtenidos para otros cúmulos cercanos (por ej., Conselice et al. 2001, Drinkwater et al. 2001), una temperatura del gas de 2 Kev, como la medida por Nakazawa et al. (2000), no excluiría tal dispersión de velocidades, si se considera la relación σ -T de Xue & Wu (2000).

Un test de normalidad de Shapiro-Wilk arroja un 90% de que la muestra provenga de una única distribución Gaussiana.

En el panel izquierdo de la Figura que ubicada a continuación se muestra la distribución espacial proyectada de galaxias brillantes ubicadas en la región del cúmulo de Antlia. La paleta de colores se desplaza del rojo al azul, abarcando el rango de velocidades indicada anteriormente. El círculo negro está centrado en el punto equidistante de ambas galaxias gEs, y tiene un radio de $20'$.

Se identifican claramente los grupos correspondientes a ambas gEs. Tanto alrededor de ellas, como en las galaxias ubicadas al NE, predominan aquellas de $V_{R,h}$ intermedias. Existen pocas galaxias con velocidades menores (color rojo), cuya distribución espacial no difiere de las anteriores. Las galaxias con velocidades más altas, en cambio, se distribuyen homogéneamente en todo el campo, y son mayoritariamente espirales.

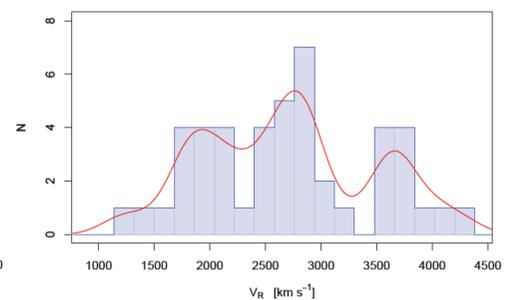
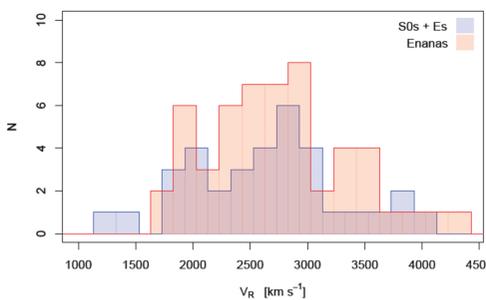
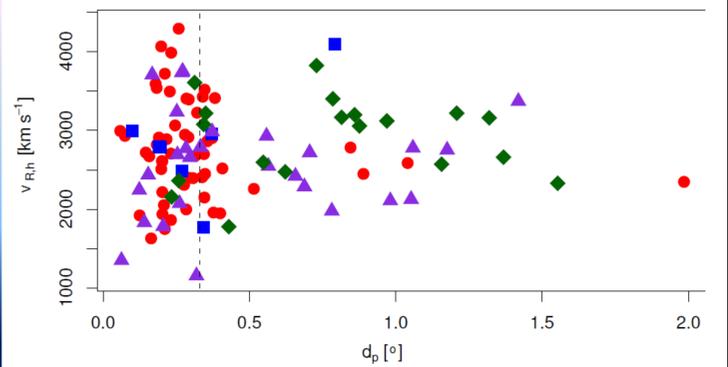
En el panel derecho se muestra la distribución espacial de las galaxias enanas, en forma análoga a lo explicado en el panel anterior. Los asteriscos indican la posición de NGC 3258 y NGC 3268. Sus velocidades se abarcan un amplio rango, y no aparenta existir una correlación entre la velocidad y distribución espacial proyectada.



Velocidades radiales heliocéntricas ($V_{R,h}$), como función de la distancia proyectada al punto medio entre NGC 3258 y NGC 3268 (d_p).

Se utilizan distintos símbolos para diferenciar entre galaxias enanas (círculos rojos), elípticas (cuadrados azules), lenticulares (triángulos violetas) y espirales (diamantes verdes). La línea a trazos indica $d_p = 20'$.

Es llamativo que nueve de las dieciséis galaxias espirales que presentan $d_p > 20'$, tienen $V_{R,h} \sim 3200 \text{ km s}^{-1}$ y relativamente baja dispersión. Si consideramos galaxias espirales y lenticulares con $d_p > 20'$, un test de Student resulta en el rechazo de que ambas provengan de una población con la misma media.



En vistas de lo anterior, decidimos enfocar nuestro análisis en las galaxias de tipo temprano de la muestra. En el panel izquierdo de la Figura que se encuentra sobre este recuadro se grafica el histograma de $V_{R,h}$ para las galaxias brillantes de tipo temprano (es decir, elípticas y lenticulares, histograma azul) y para las galaxias enanas (histograma rojo). En ambos se observa que las muestras podrían dividirse en un grupo mayoritario con velocidades entre $2200 < V_{R,h} [\text{km s}^{-1}] < 3300$, aunque estos límites son estimativos, y las galaxias enanas aparentarían tener mayores dispersiones, algo ya apuntado en la literatura.

En el panel derecho se muestra el histograma de todas aquellas galaxias de tipo temprano, que se encuentran a una distancia proyectada menor a $10'$ de NGC 3258 o NGC 3268. Nuevamente, podemos distinguir un grupo de galaxias con velocidades intermedias.

ESTIMADORES DE MASAS

Trabajos realizados a partir de observaciones en rayos X determinaron que la masa contenida hasta los ~ 250 kpc de NGC 3258 y NGC 3268 es $(0.9 - 2.4) \times 10^{13} M_\odot$ (Pedersen et al. 1997) y $2 \times 10^{13} M_\odot$ (Nakazawa et al. 2000), respectivamente. Es interesante utilizar estas mediciones como valores de contorno para aplicar estimadores de masa a nuestra muestra de galaxias.

Hemos escogido para esto tres estimadores de masa (estimador de masa proyectada, M1; estimador de masa mediana, M2; y estimador de masa promedio, M3) propuestos por Heisler et al. (1985), y un cuarto estimador (M4) propuesto por Evans et al. (2003). En principio, aplicamos los estimadores a todas las galaxias que se encontraron a una distancia proyectada de NGC 3258 o NGC 3268 menor a $10'$ (a la distancia de Antlia equivale a ~ 100 kpc), que resultaron ser diecinueve y veinticuatro galaxias, respectivamente.

GRUPO NGC 3258 M1 $\approx 1.5 \times 10^{14} M_\odot$ M2 $\approx 6 \times 10^{13} M_\odot$ M3 $\approx 5 \times 10^{13} M_\odot$ M4 $\approx 4-6 \times 10^{13} M_\odot$

GRUPO NGC 3268 M1 $\approx 8 \times 10^{13} M_\odot$ M2 $\approx 7 \times 10^{13} M_\odot$ M3 $\approx 6 \times 10^{13} M_\odot$ M4 $\approx 3-4 \times 10^{13} M_\odot$

Estos valores discrepan claramente con aquellos obtenidos a partir de observaciones de rayos X, más aún si se tiene en cuenta que el volumen considerado en este caso es aproximadamente seis veces menor. En función de esto, y considerando la distribución de $V_{R,h}$ analizada anteriormente, realizamos nuevas estimaciones acotando el rango de velocidades a $2150 < V_{R,h} [\text{km s}^{-1}] < 3450$. En este caso, la cantidad de galaxias en torno a NGC 3258 o NGC 3268 se redujeron a nueve y doce, respectivamente.

GRUPO NGC 3258 M1 $\approx 3 \times 10^{13} M_\odot$ M2 $\approx 1 \times 10^{13} M_\odot$ M3 $\approx 1 \times 10^{13} M_\odot$ M4 $\approx 5-7 \times 10^{12} M_\odot$

GRUPO NGC 3268 M1 $\approx 2 \times 10^{13} M_\odot$ M2 $\approx 6 \times 10^{12} M_\odot$ M3 $\approx 8 \times 10^{12} M_\odot$ M4 $\approx 4-14 \times 10^{12} M_\odot$

Estas estimaciones de masa presentan valores más razonables en función de la masa obtenida a partir de observaciones de rayos X, y de la masa que uno esperaría encontrar en un cúmulo de galaxias del tamaño de Antlia.

RESUMEN

- La distribución de $V_{R,h}$ es consistente con una dispersión de velocidades de $\sim 600 \text{ km s}^{-1}$.
- La distribución espacial muestra una concentración hacia las dos gEs, y numerosas galaxias hacia el NE de las mismas.
- Las galaxias espirales presentan mayoritariamente $V_{R,h}$ superiores a la media de la población.
- La masa estimada a partir de la muestra de galaxias en torno a ambas gEs es del orden de $10^{14} M_\odot$, superior a las estimaciones de observaciones en rayos X. Es necesario poner restricciones al rango de $V_{R,h}$ para que los valores coincidan con aquellos.

BIBLIOGRAFIA

Bassino L.P., Richtler T., Dirsch B., 2008, MNRAS 386, 1145
Calderón J.P., Bassino L.P., Cellone S., Richtler T., Caso J.P., Gómez M., 2014, MNRAS, *enviado*
Caso J.P., Bassino L.P., Richtler T., Smith Castelli A.V., Faifer F.R., 2013, MNRAS, 430, 1088
Caso J.P., Bassino L.P., Richtler T., Calderón J.P., Smith Castelli A.V., 2014, MNRAS, 442, 891
Conselice C.J., Gallagher III J.S., Wyse R.F., 2001, ApJ, 559, 791
Dirsch B., Richtler T., Bassino L.P., 2003, AA, 408, 929
Drinkwater M.J., Gregg M.D., Colless M., 2001, ApJ, 548, L139
Evans N.W., Wilkinson M.L., Perrett K.M., Bridges T.J., 2003, ApJ, 583, 752

Heisler J., Tremaine S., Bahcall J.N., 1985, ApJ, 298, 8
Nakazawa K., Makishima K., Fukazawa Y., Tamura T., 2000, PASJ, 52, 623
Pedersen K., Yoshii Y., Sommer Larsen J., 1997, ApJ, 485, L17
Smith Castelli A.V. 2008, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP
Smith Castelli A.V., Bassino L.P., Richtler T., Cellone S., Aruta C., Infante L., 2008a, MNRAS, 386, 2311
Smith Castelli A.V., Faifer F.R., Richtler T., Bassino L.P., 2008b, MNRAS, 391, 685
Smith Castelli A.V., et al., 2012, MNRAS, 419, 2472
Xue Y., Wu X., 2000, ApJ, 538, 65