

INFALL OF ASSOCIATIONS OF DWARF GALAXIES INTO THE MILKY WAY HALO

José Antonio Benavides Blanco
&
Rigoberto Casas Miranda



Grupo de Astrofísica
Universidad Nacional de Colombia
September, 2016-Bogotá Colombia

Abstract

Inside the Local Group, the satellite galaxies of the Milky Way do not have an isotropic distribution, instead most of them lie on a structure almost perpendicular to the plane of the disk of the Galaxy, called VPOS. At present there is not a theoretical model that correctly explains both the abundance and spatial distribution of these objects within the Local Group. This work presents a study, using Newtonian N-body numerical simulations, on the formation of the disk of satellites of the Milky Way (DoS) from accretion of dwarf galaxies that fall into the dark matter halo of the Milky Way following parabolic orbits with initial distances of 4, 2 and 1 Mpc. We analysed the morphological properties of the dwarfs after 10 Gyr of infall into the Milky Way halo, the obtained spatial distributions about the plane of the host galaxy and the radial distances at which they are located. We found that, after 10 Gyr of infall, the structures remain compact while keeping their spherical profile. Only associations of dwarf galaxies at distances of 1 Mpc manage to enter the halo of the Galaxy and could be considered as progenitors of the DoS. This is supported by the fact that these closest associations are those that probably had already precipitated into the halo of the Galaxy, and that there are not observed associations of dwarfs at these distances, being the association 14+12 the closest to the Milky Way at 1.37 Mpc.

Galaxias en el universo



Fig.1 Imagen del cielo tomada por el telescopio espacial Hubble SDSS J11004+4112, muestra de la abundancia de las galaxias en el universo. Tomado de [\[http://hubblesite.org/\]](http://hubblesite.org/) consultado el 23 de marzo de 2015.

Simulaciones cosmológicas

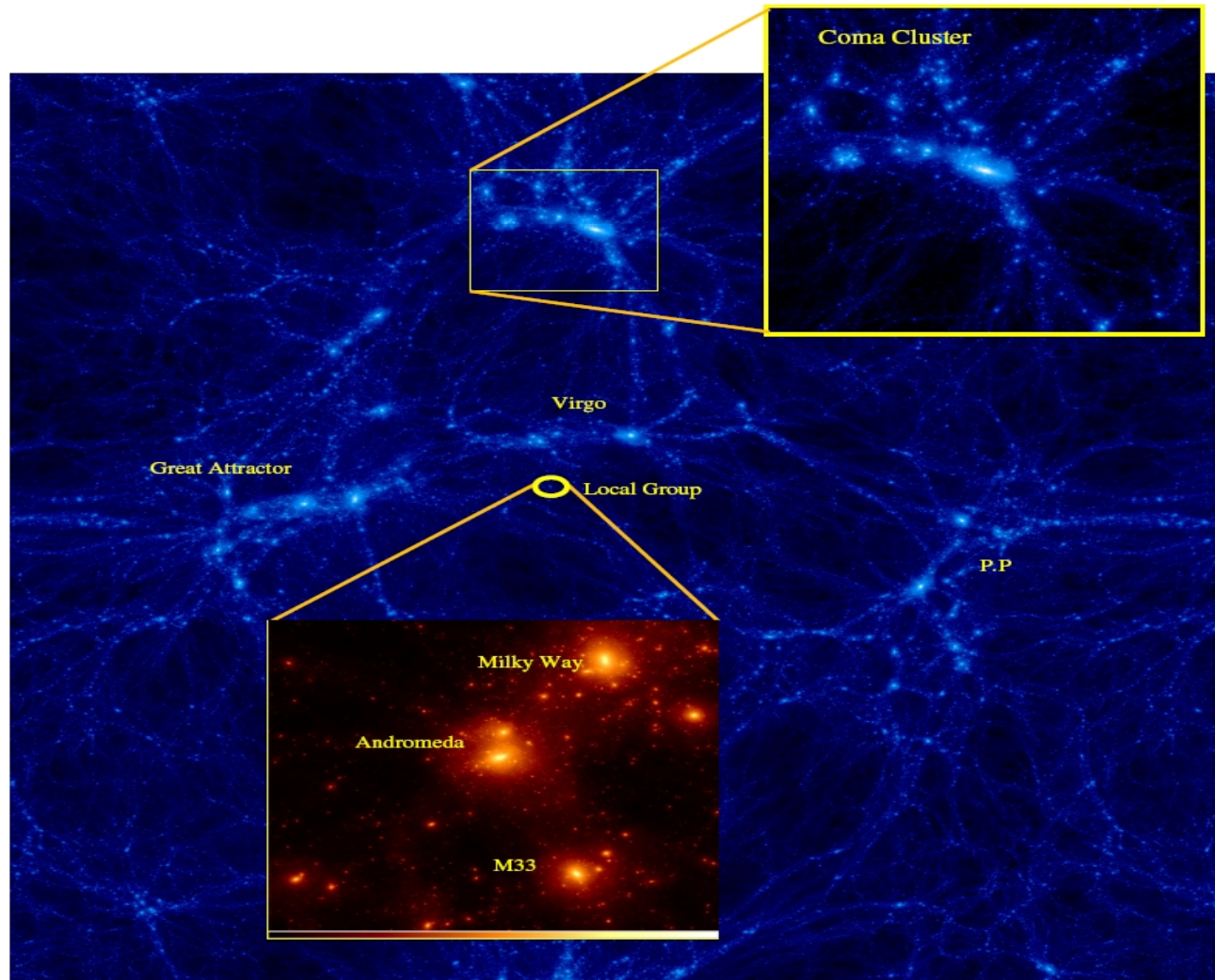


Fig.2 Imagen obtenida de una simulación del universo a gran escala donde se muestra la densidad de materia oscura en el universo. [Tomada de: <http://www.clues-project.org/> consultado el 7 de febrero de 2015].

El Grupo Local

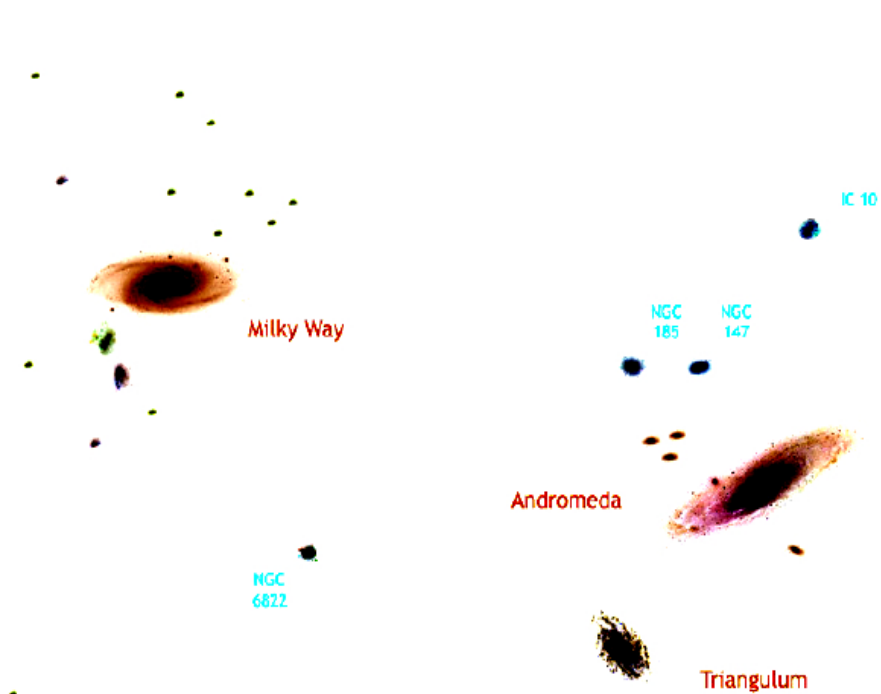


Fig. 3. Esquema del Grupo Local de galaxias. Tomada de <http://www.atlasoftheuniverse.com>

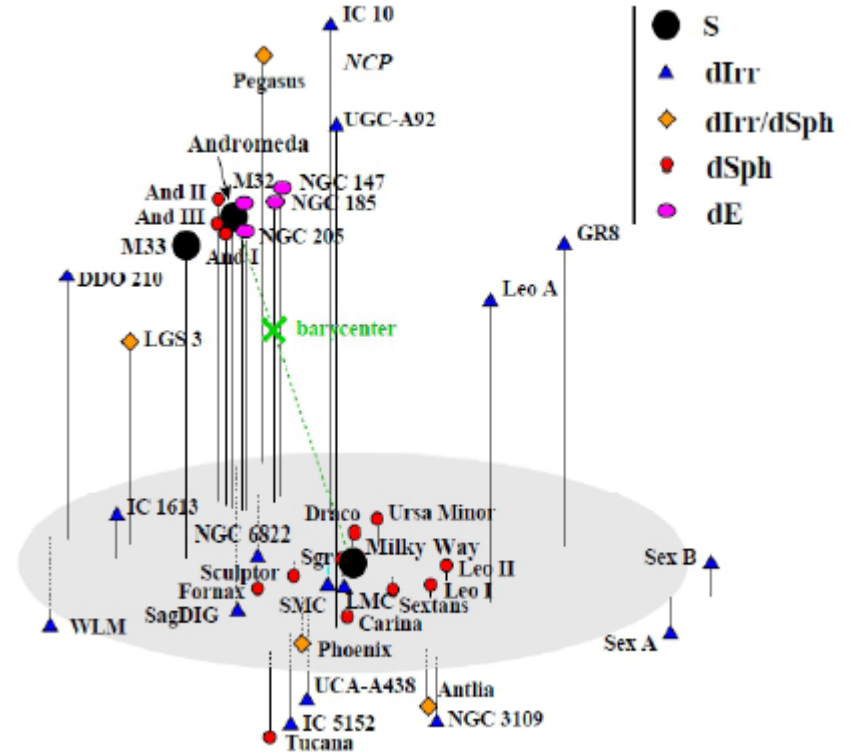


Fig. 4. El esquema ilustra las galaxias pertenecientes al Grupo Local haciendo énfasis en la ubicación y la morfología de los objetos que contiene. Tomado de: Grebel. E.K, Star Formation Histories of Local Group Dwarf Galaxies. 1998

El Grupo Local

En trabajos realizados por Hodge P. (1971) consideraba 24 miembros para el Grupo Local de las cuales 21 son galaxias enanas, Van den Bergh S. (2000) reconoce 35 miembros, con las observaciones actuales ya se sobrepasa los 40 miembros para la conformación del Grupo Local.

Por otro lado, Klypin et. al. (1999) en *“Where are the missing galactic satellites?”* mencionan que el modelo cosmológico se predice la presencia del orden de 300 satélites dentro de un radio de 1.5 Mpc en comparación con los ~ 40 satélites reportados.

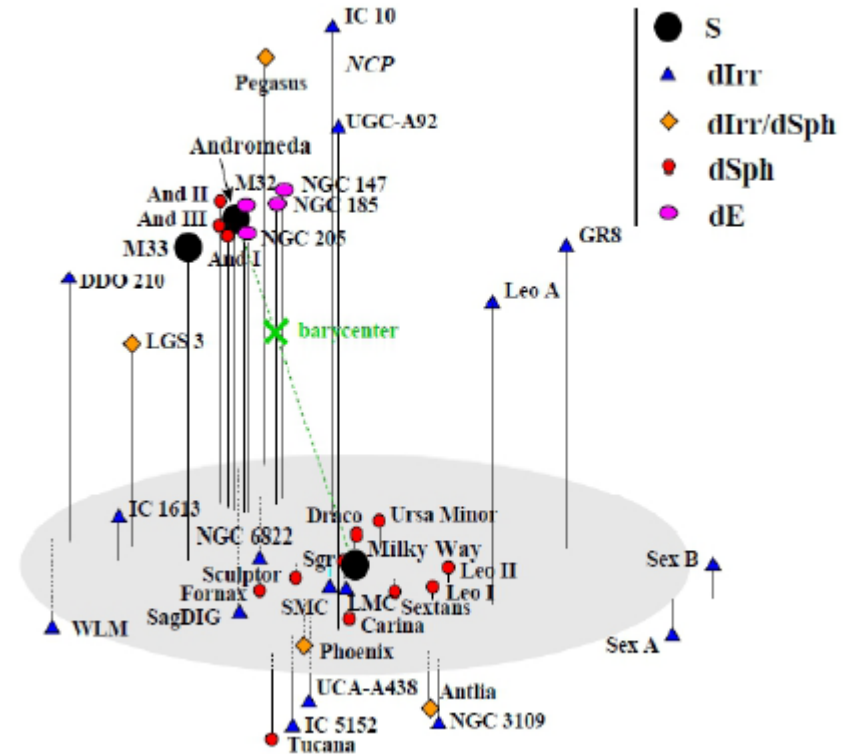


Fig. 4. El esquema ilustra las galaxias pertenecientes al Grupo Local haciendo énfasis en la ubicación y la morfología de los objetos que contiene. Tomado de: Grebel. E.K, Star Formation Histories of Local Group Dwarf Galaxies. 1998

Distribución de satélites de la Vía Láctea



Fig 5. Gráfico del número de objetos contra distancia (kpc) para los objetos que pertenecen a las estructuras de disco de satélites de la Vía Láctea y la M31 (Pawloswski, Kroupa & Jerjen 2013).

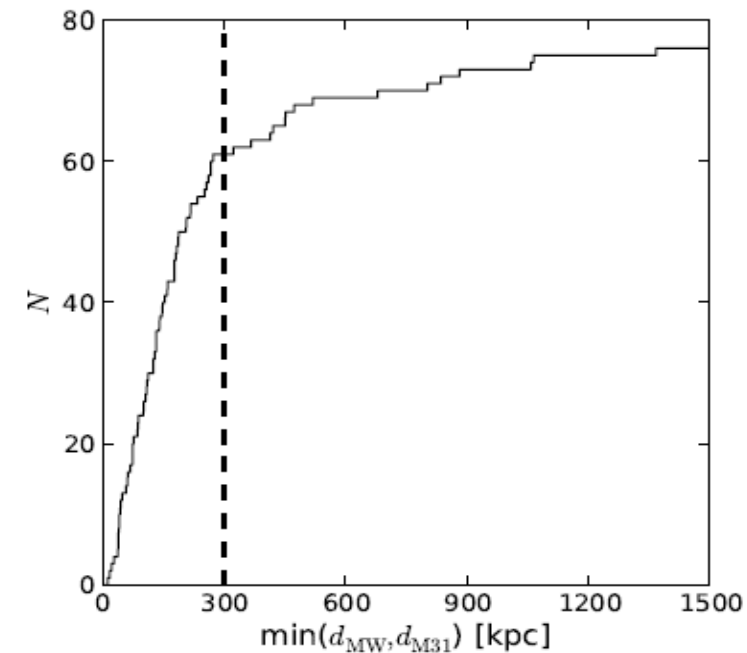
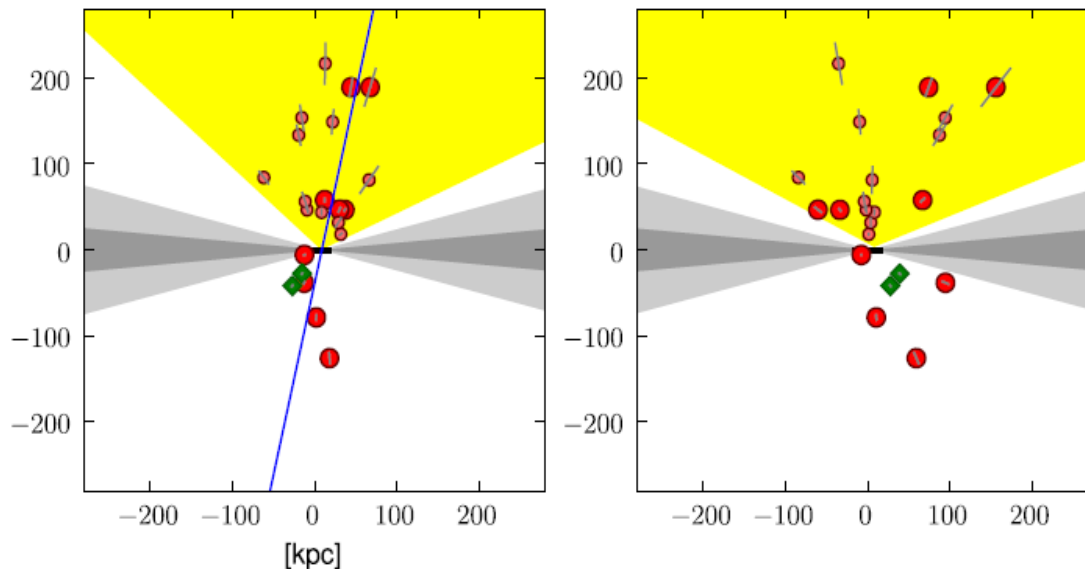
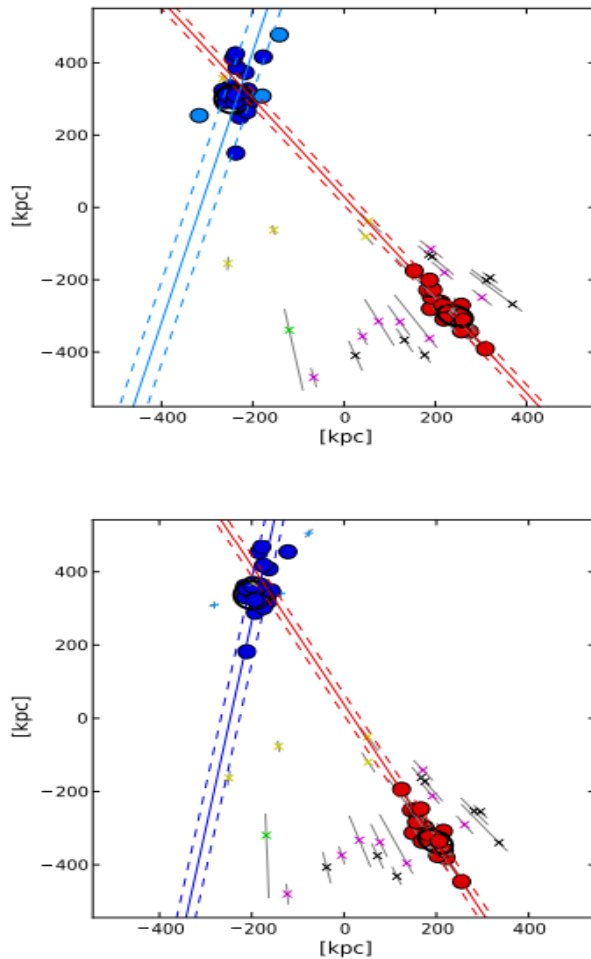


Fig. 6 Distribución espacial de algunas de las galaxias enanas (círculos rojos) y Ultra Feint (círculos purpura) respecto al disco de la Vía Láctea (barra central de color negro) en un rango de 300 kpc (Metz M. et al. 2009).



Galaxias satélites



TWO PLANES OF SATELLITES IN THE CENTAURUS A GROUP

R. BRENT TULLY¹, NOAM I. LIBESKIND², IGOR D. KARACHENTSEV³, VALENTINA E. KARACHENTSEVA⁴, LUCA RIZZI⁵, AND EDWARD J. SHAYA⁶

¹Institute for Astronomy, University of Hawaii, 2680 Woodlawn Drive, Honolulu, HI 96822, USA

²Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, An der Sternwarte 16, D-14482, Potsdam

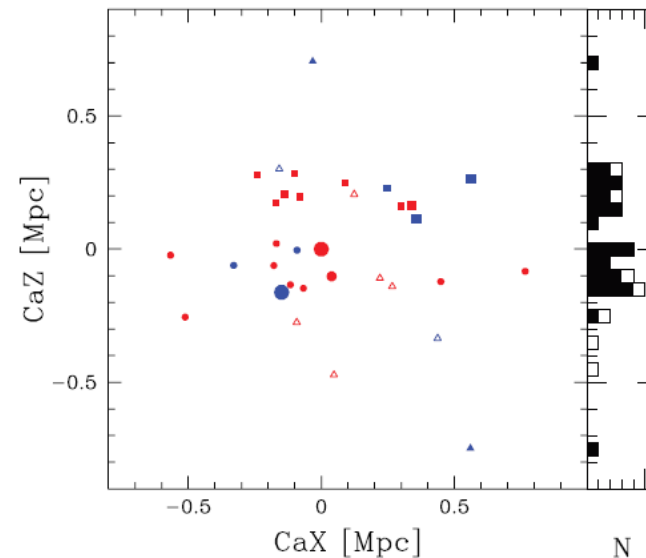
³Special Astrophysical Observatory, Nizhnij Arkhyz, Karachai-Cherkessian Republic, 369167 Russia

⁴Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 03680 Ukraine

⁵W. M. Keck Observatory, 65-1120 Mamalahoa Hwy., Kamuela, HI 96743, USA and

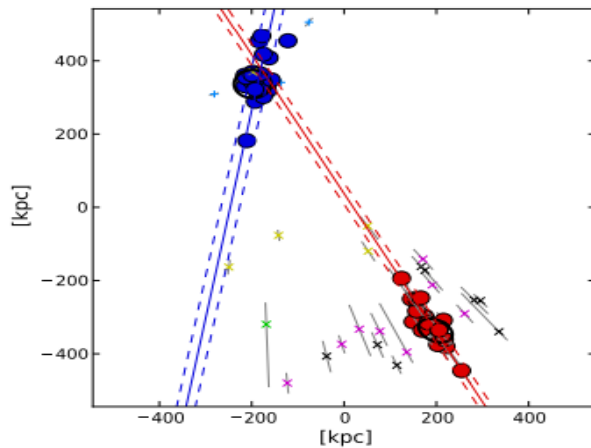
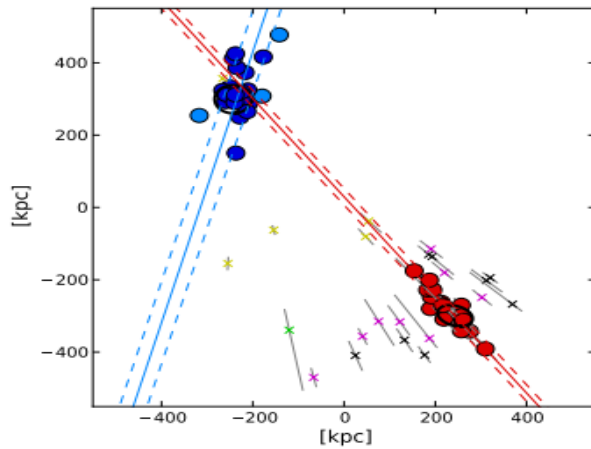
⁶Astronomy Dept., University of Maryland, College Park, MD 20743, USA

Draft version March 20, 2015



Pawlowski, M., Kroupa P. & Jerjen H. (2013). *Dwarf galaxy planes: the discovery of symmetric structures in the Local Group.*

Galaxias satélites



Testing the two planes of satellites in the Centaurus Group

Oliver Müller¹, Helmut Jerjen², Marcel S. Pawlowski³, and Bruno Binggeli¹

¹ Departement Physik, Universität Basel, Klingelbergstr. 82, CH-4056 Basel, Switzerland

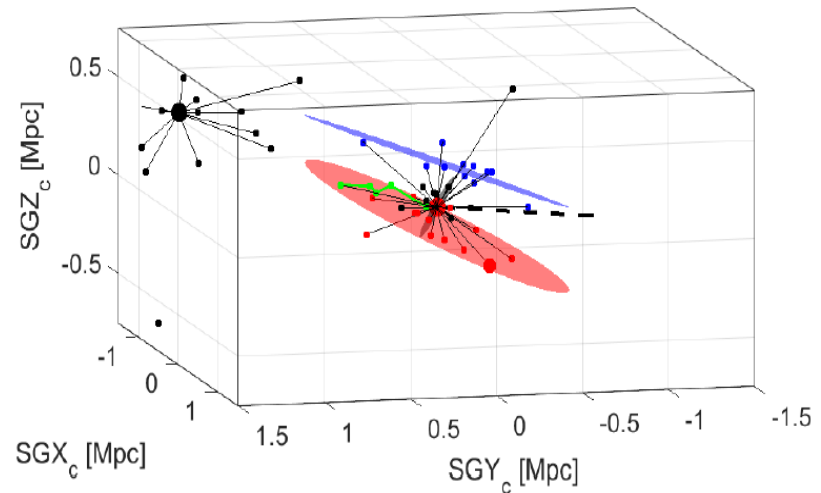
e-mail: oliver89.mueller@unibas.ch; bruno.binggeli@unibas.ch

² Research School of Astronomy and Astrophysics, Australian National University, Canberra, ACT 2611, Australia

e-mail: helmut.jerjen@anu.edu.au

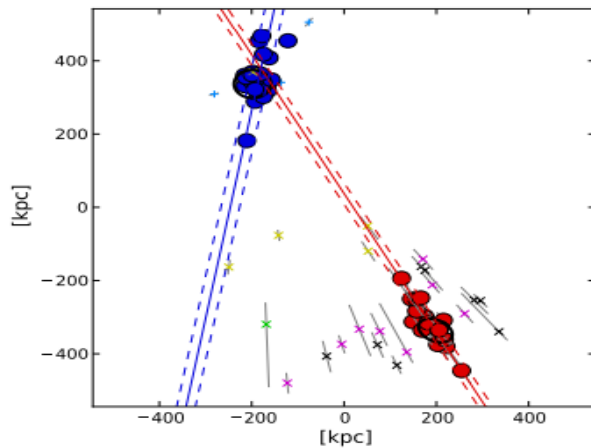
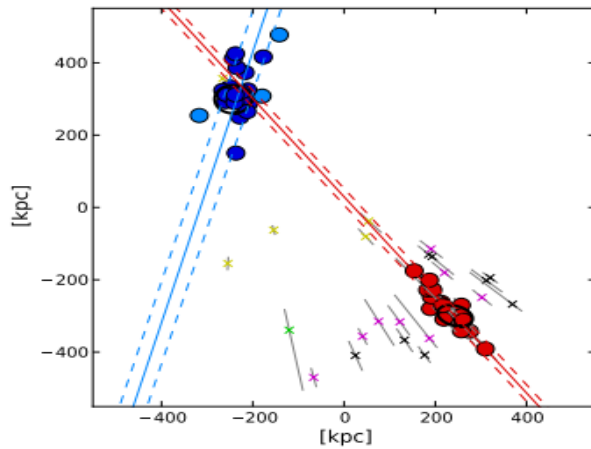
³ Department of Astronomy, Case Western Reserve University, 10900 Euclid Avenue, Cleveland, OH 44106, USA

e-mail: marcel.pawlowski@case.edu



Pawlowski, M., Kroupa P. & Jerjen H. (2013). *Dwarf galaxy planes: the discovery of symmetric structures in the Local Group.*

Galaxias satélites



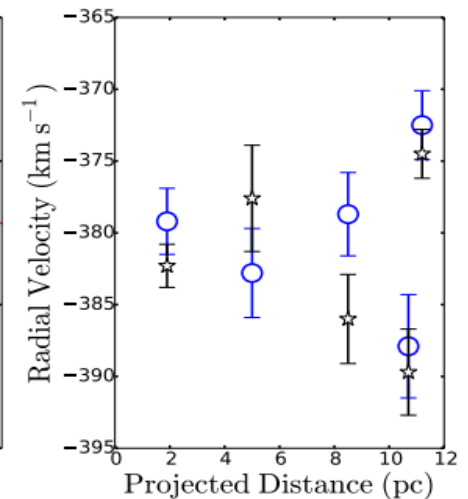
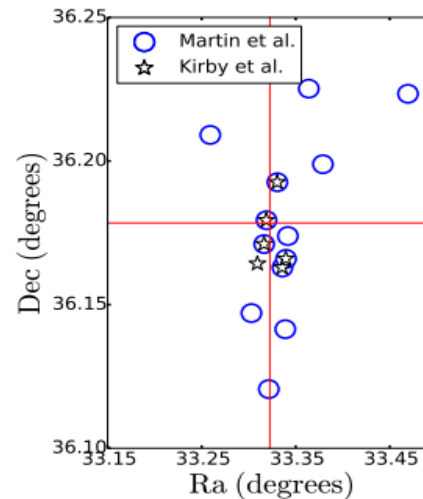
MNRAS **000**, 1–7 (2016)

Preprint 13 September 2016

Compiled using MNRAS L^AT_EX style file v3.0

The Potential of the Dwarf Galaxy Triangulum II for Dark Matter Indirect Detection

Anna Genina [★] Malcolm Fairbairn [†]
Physics, King's College London, Strand, London WC2R 2LS



Pawlowski, M., Kroupa P. & Jerjen H. (2013). *Dwarf galaxy planes: the discovery of symmetric structures in the Local Group.*

Galaxias satélites

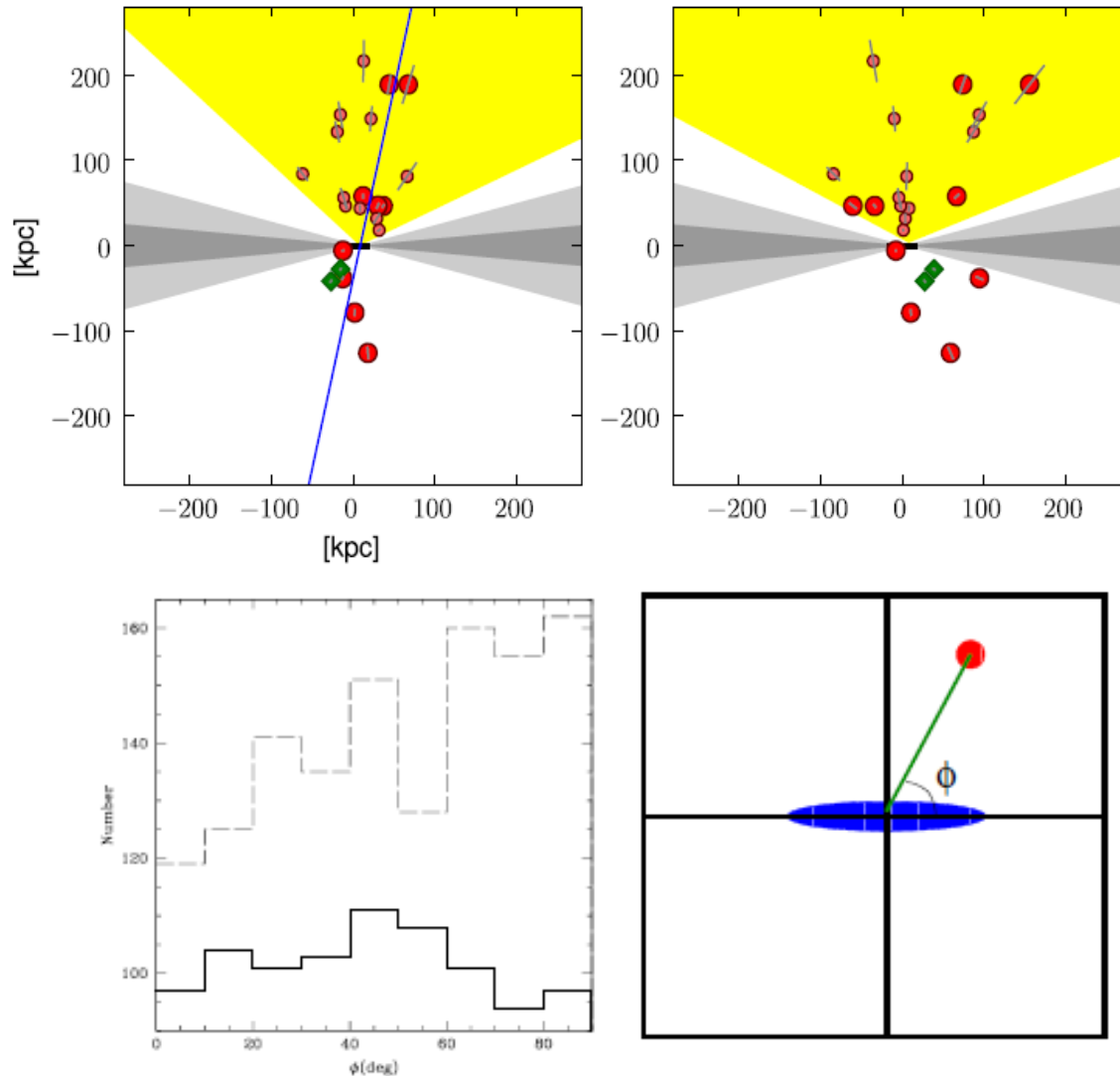


Fig. 6 Distribución espacial de algunas de las galaxias enanas (círculos rojos) y Ultra Faint (círculos púrpura) respecto al disco de la Vía Láctea (barra central de color negro) en un rango de 300 kpc (Metz M. et al. 2009).

Efecto Holmberg

Holmberg (1969): Establece que las galaxias satélite muestran una preferencia a situarse en distancias del orden de ~ 50 kpc del eje menor de la galaxia, propuesto tras la observación de 174 galaxias host y 274 satélites

Fig. 7 Alineamiento entre galaxias de todos los tipos y satélites (Sales & Lambas. 2005).c

Hipótesis de formación de DoS

- Formación por acreción (Caída de asociaciones)
- Encuentros cercanos (Colisión galáctica)

Modelo propuesto: Acreción de galaxias enanas

En este trabajo se propuso un modelo en el cual se considera que las galaxias enanas que conforman el disco de satélites de la Vía Láctea fueron acretadas por interacción gravitacional. Estas se encontraban en asociaciones de galaxias que se hallaban en regiones periféricas al Grupo Local. Al ingresar al halo de materia oscura de la Vía Láctea las enanas experimentan efectos de fricción dinámica y fuerzas de marea que generan decaimientos en su órbita y deformaciones en la estructura de la asociación, permitiéndole a las enanas evolucionar en forma individual.

Generación e interacción de los objetos

ZENO

Para la generación de los objetos astrofísicos iniciales del modelo se utilizó el paquete de programas ZENO desarrollado por Barnes J. de la universidad de Hawaii

Parámetro	ZENO	Astronómicas
Masa	1	$5 \times 10^{10} M_{\odot}$
Longitud	1	3.5 kpc

Tabla 1 Relaciones entre unidades astronómicas y unidades ZENO

Joshua Edward Barnes

I am a faculty member at the Institute for Astronomy (IfA), which is part of the [University of Hawaii](#).

[What's New Here?](#)
[Research](#)
[Teaching](#)
[Astronomy Laboratory](#)
[Publications](#)
[Talks](#)
[Resume](#)
[Astronomy Education](#)
[Virtual Photo Album](#)

Fall 2015 Schedule

Mon. IfA: 9:00—18:00
Astr 241: 10:30—11:20, Wat 144

Tue. IfA: 9:00—18:45

Wed. IfA: 8:15—18:30
Astr 241: 10:30—11:20, Wat 144

Thu. IfA: 12:00—18:45

Fri. IfA: 8:15—17:00
Astr 241: 10:30—11:20, Wat 144

Office hours Mon. 9:30—10:20,
Thu. 14:30—15:20, Wat 423

Travel none planned



Joshua E. Barnes (barnes at ifa.hawaii.edu)
Updated: 28 October, 2015
<http://www.ifa.hawaii.edu/~barnes/barnes.html>



Generación e interacción de los objetos



GADGET - 2

A code for cosmological simulations of structure formation



ELSEVIER

New Astronomy 6 (2001) 79–117

New Astronomy

www.elsevier.nl/locate/newast

GADGET: a code for collisionless and gasdynamical cosmological simulations

Volker Springel^{a,b,*}, Naoki Yoshida^a, Simon D.M. White^a

^aMax-Planck-Institut für Astrophysik, Karl-Schwarzschild-Straße 1, 85740 Garching bei München, Germany

^bHarvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138, USA

Received 13 March 2000; received in revised form 19 December 2000; accepted 29 January 2001

Communicated by K. Nomoto

User guide for GADGET-2

Volker Springel

volker@mpa-garching.mpg.de

Max-Planck-Institute for Astrophysics, Garching, Germany

May 1, 2005

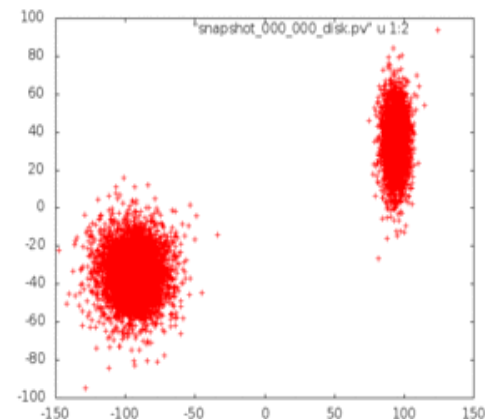


Fig. 10 Ejemplo de simulación para la interacción de dos galaxias de disco realizado en GADGET-2

Componentes de una galaxia de disco

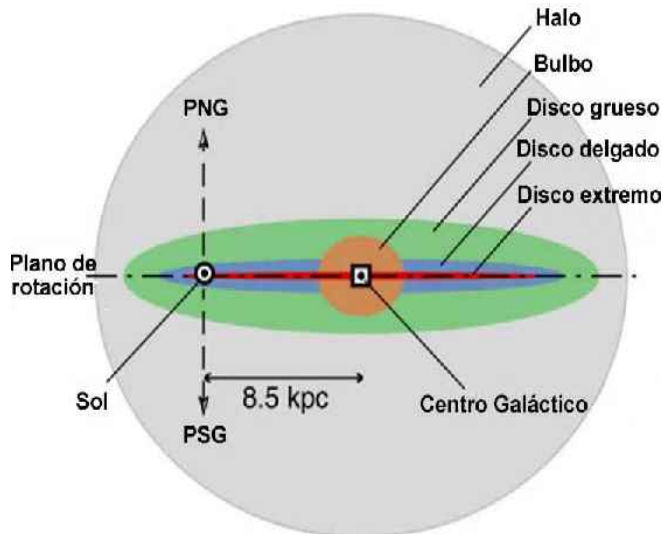


Fig. 11 (Izquierda) representación de las componentes de la Vía Láctea [ilustración de Maksim 2006, tomado de: <http://red-estelar.webcindario.com/Via-Lactea.html> consultado el 22 de Noviembre de 2014], (derecha) posible forma que podría tener la Vía Láctea a partir de la observación de investigación de otras galaxias de disco [tomado de: <http://www.blogodisea.com/galaxias-via-lactea-materia-oscura.html> consultado el 22 de noviembre de 2014].

Componentes de una galaxia de disco

Perfil de Hernquist (Halo de materia oscura y bulbo)

$$\phi_{Hern}(r) = -\frac{G M}{r + a}$$

$$a = r_s \sqrt{2[\ln(1 + c) - c/(1 + c)]}$$

$$c = \frac{r_{200}}{r_s}$$

(Hernquist, 1990 y 1993) y Springel et al. (2005)

Donde:

M: Representa la masa del esferoide.

G: La constante de gravitación universal.

r: Punto donde se mide el potencial.

a: Radio del núcleo asociado al

esferoide (Longitud de escala radial).

Perfil Exponencial (Disco)

$$\rho(R, z) = \frac{M_d}{4\pi R_d^2 z} e^{-R/R_d} \operatorname{sech}^2\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\frac{M_d}{2\pi R_d^2} e^{-R/R_d} = \Sigma(R)$$

$$\frac{M_d}{2\pi R_d^2} = \Sigma_0$$

(Springel and White, 1999)

Donde:

M_d : Es la masa del disco.

R_d : La longitud escala radial.

z_0 : longitud de escala vertical.

Condiciones iniciales para la Vía Láctea

Parámetro	Símbolo	Valor reportado	Valor asignado
Masa del esferoide	M_b	$4.5 \pm 1.5 \times 10^9 M_\odot$	$5 \times 10^9 M_\odot$
Longitud de escala del esferoide	a_b	0.3 kpc	0.3 kpc
Masa del disco	M_d	$4.5 \pm 0.5 \times 10^{10} M_\odot$	$5 \times 10^{10} M_\odot$
Longitud de escala radial del disco	R_d	$2.5 \pm 0.5 \text{ kpc}$	3.0 kpc
Longitud de escala vertical del disco	z_d	$0.3 \text{ a } 1 \text{ kpc}$	1 kpc
Masa del halo	M_h	$2^{+3}_{-1.8} \times 10^{12} M_\odot$	$1 \times 10^{12} M_\odot$
Longitud de escala de halo	a_h	12.96 kpc	12.96 kpc

Tabla 2. Valores asignados para el modelo de una galaxia de disco con las características de la Vía Láctea (Binney J. & Tremaine S., 2008)..

Condiciones iniciales para la Vía Láctea

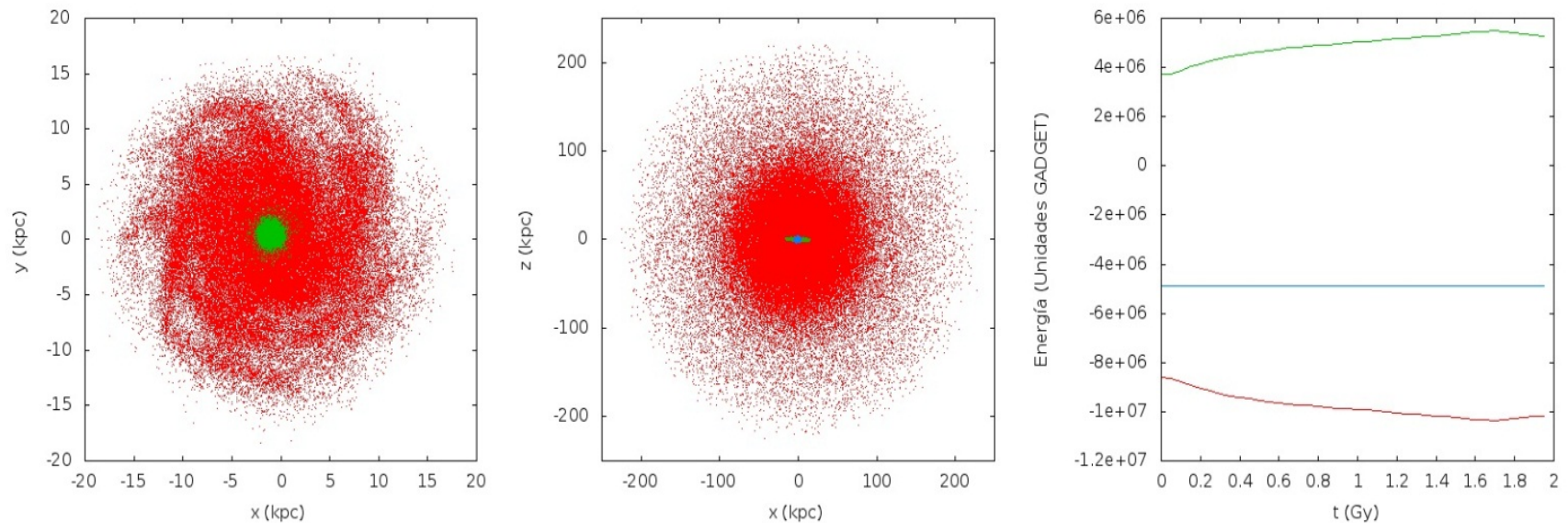


Figura 12 Resultados de la virialización de una galaxia de disco con las propiedades de la Vía Láctea. A la izquierda disco y esferoide, en el centro se muestra la galaxia envuelta en el halo de materia oscura y a la derecha la curva de energía en unidades de GADGET ($10^{10} M_{\odot} \text{ km}^2/\text{s}^2$) en función del tiempo.

Galaxias Enanas

Las galaxias enanas presentan algunas de las siguientes propiedades:

- Compuestas principalmente por estrellas viejas
- Poca composición de metales
- Bajo brillo

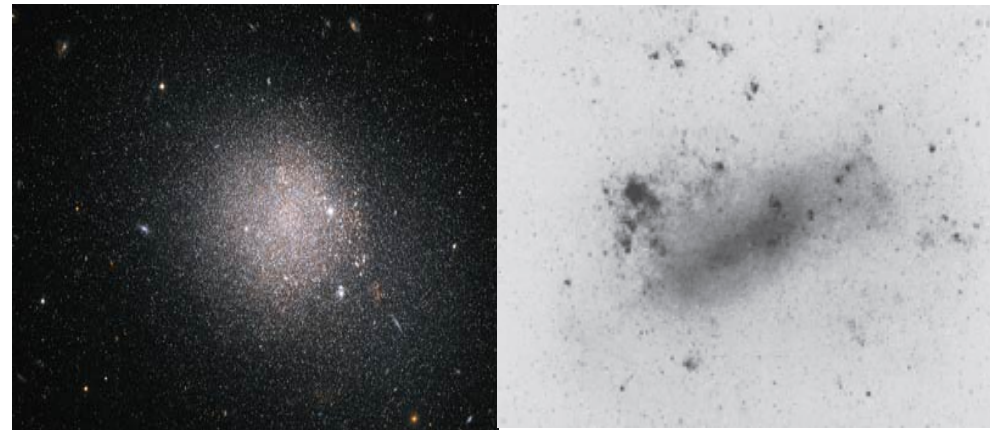
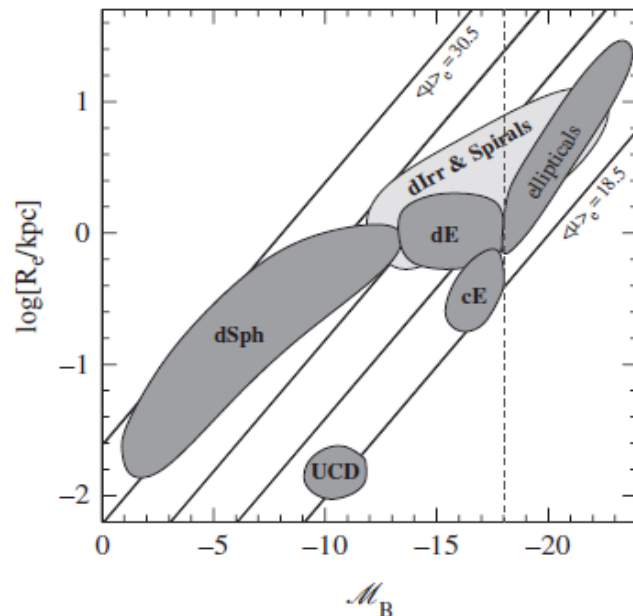


Fig 13 Muestra de dos galaxias enanas: NGC 4163 (izquierda) una galaxia esférica (dSph) y la Gran Nube de Magallanes (LMC) (derecha) una galaxia irregular (dlrr). [Tomado de los archivos de la NASA].

Fig 14 Esquema de distribución de galaxias relacionando sus radios efectivos con su magnitud absoluta: Enanas Esféricas (dSph), Enanas Elípticas (dE), Enanas Irregulares (dlrr), Enanas Ultra Compactas (UCD), Espirales, Elípticas, Elípticas Compactas (cE) (Mo H., 2010)

Galaxias enanas del Grupo Local

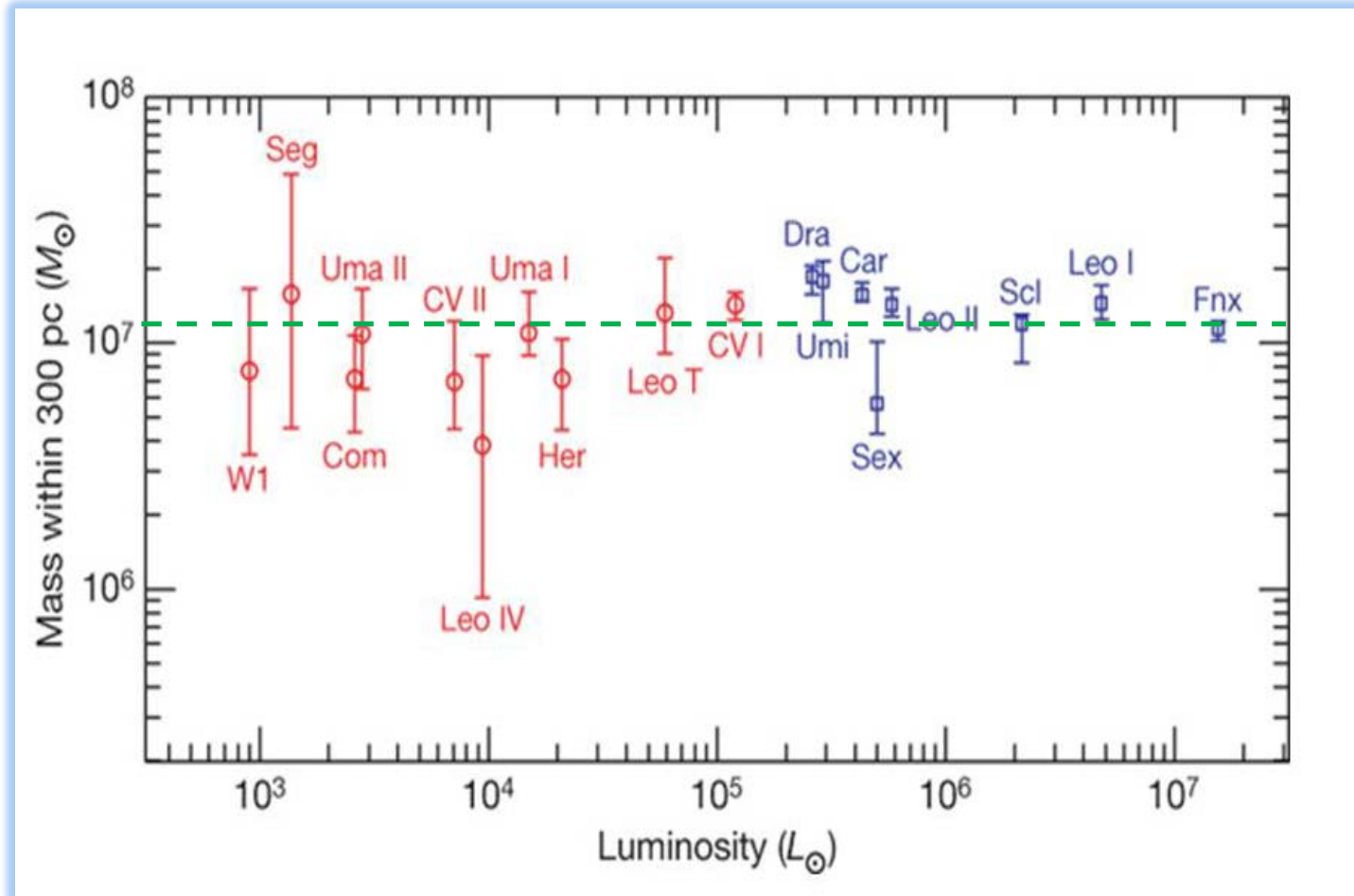


Fig 15. Escala de masa frecuente para algunas galaxias enanas del grupo local, (Strigari et al. 2008).

Generación de una galaxias enana

Perfil de Plummer (esferoidal)

$$\phi_{plum}(r) = \frac{3M}{4\pi b^3} \left(1 + \frac{r^2}{b^2}\right)^{-\frac{5}{2}}$$

Parámetro	Valor asignado
Masa Estelar	$1.002 \times 10^7 M_{\odot}$
Radio de Plummer	0.3 kpc

Tabla 3. Parámetros iniciales para la generación de una galaxia enana sin materia oscura

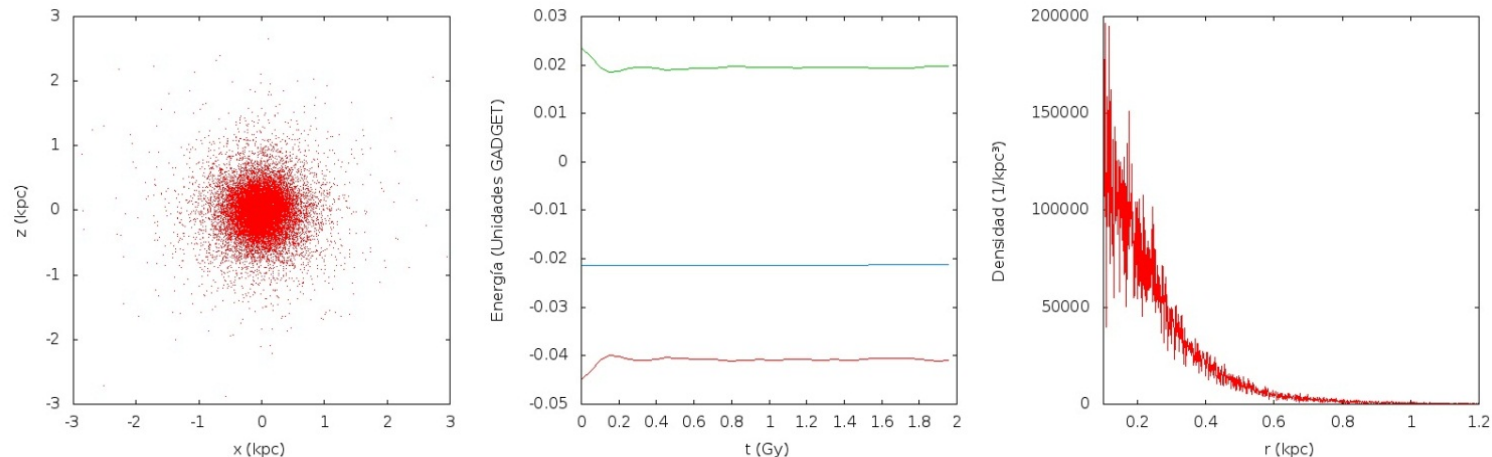


Fig. 16. Resultados obtenidos de la virialización de una galaxia enana libre de materia oscura

Generación de una galaxias enana



Parámetro	Valor asignado
Masa Estelar	$1.002 \times 10^7 M_{\odot}$
Radio de Plummer	0.3 kpc
Masa Halo	$9.22 \times 10^8 M_{\odot}$
Factor de escala del Halo	0.585
Softening length stars	0.007 kpc

Tabla 4. Parámetros iniciales para la generación de una galaxia enana con halo de materia oscura

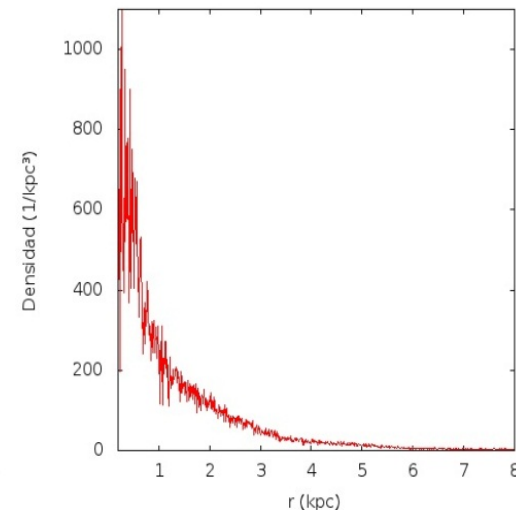
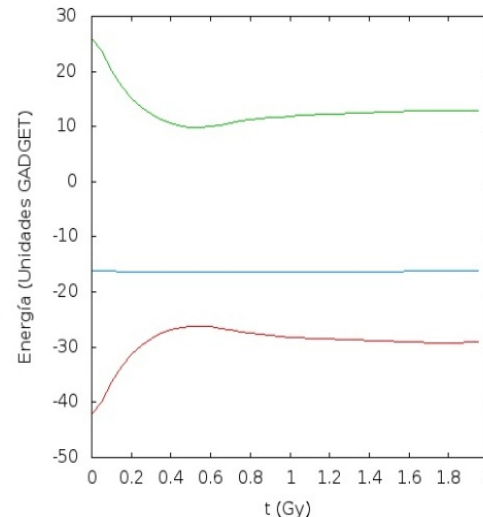
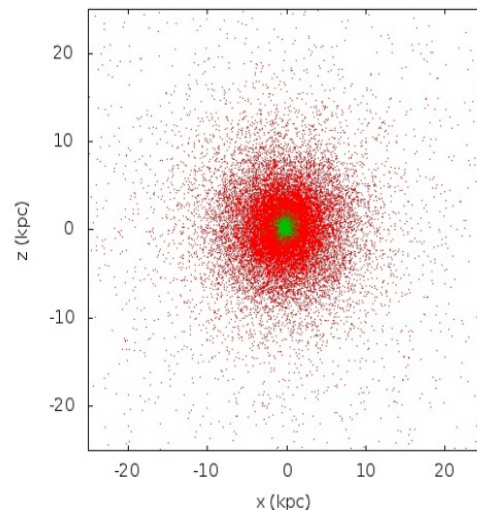


Fig. 17. Resultados obtenidos de la virialización de una galaxia enana envuelta en un halo de materia oscura

Condiciones orbitales del modelo

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos(\theta)}$$

$$v_r = \frac{dr}{dt} = \sqrt{\frac{\mu}{p}} \sin(\theta)$$

$$v_c = \frac{d\theta}{dt} = \sqrt{\frac{\mu}{p}} [1 + \cos(\theta)]$$

$$\mu = G(M_1 + M_2)$$

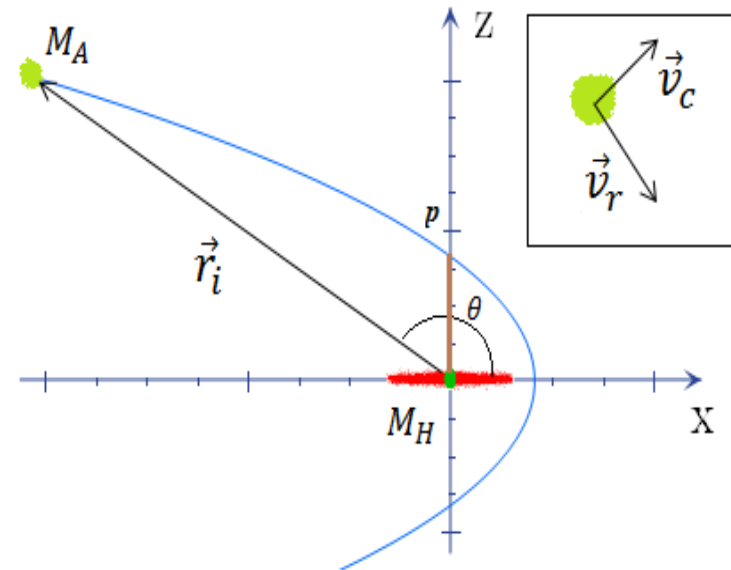


Fig. 18 Esquema del modelo cinemático de la asociación (M_A) en su caída hacia la Vía Láctea (M_H) siguiendo una órbita parabólica.

Asociaciones de galaxias enanas

Grupo	Galaxia principal	No	Distancia (Mpc)	R_I^{3D} (Mpc)	V_r (km/s)	L_B ($10^{11} L_\odot$)	M_{pm} ($10^{11} M_\odot$)	M_{vir} ($10^{11} M_\odot$)	M_{pm}/L ($M_\odot/L_\odot$)	M_{vir}/L ($M_\odot/L_\odot$)	M/L_B^{old} ($M_\odot/L_\odot$)	$t_x H_0$
14+12	NGC 3109	5	1.37	0.35	18	3.7	1.9	1.4	510	360	1220/300	0.86
14+13	NGC 55	5	2.07	0.28	36	40.7	3.8	6.5	90	160	13/17	0.33
		6 ^c		0.45	36	43.2	6.7	8.4	160	190		0.54
14+7	NGC 4212	6	2.94	0.32	42	13.7	5.5	8.: ^a	400	590 ^a		0.30
14+8	UGC 8760	4	3.06	0.30	11	1.4	0.4	0.5	300	380	250/945	1.2
14+6	NGC 784	4	5.2	0.26	17	10.5	1.3	1.7	120	160	330/1110	0.68
14+14	ESO 154-23	3	5.8	0.38	35	10.0	7.3	10.4	730	1040		0.48
14+19	UGC 3974	3	7.9	0.31	26	6.6	4.0	2.: ^a	600	300 ^a		0.52
		4 ^b		0.67	22	7.7	3.5	2.: ^a	450	300 ^a	1060/2040	1.3
Dregs	DDO 155	4	2.28	0.57	37	0.3	13	16	44000	56000		0.66

Tabla 5. Asociaciones de galaxias pertenecientes al grupo local con algunas características similares para los miembros de cada asociación (Tully B. et. al 2006).

Asociación de enanas para el modelo

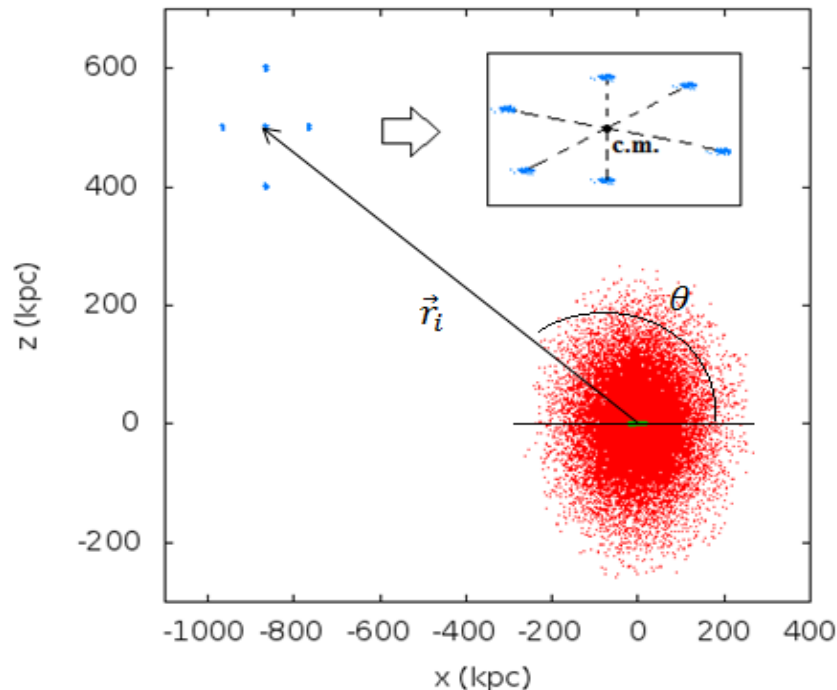


Fig 19 Vía Láctea y una asociación de seis galaxias idénticas y ubicadas simétricamente respecto al centro de masa de la asociación.

Para el modelo de acreción se propuso utilizar:

una asociación compuesta por seis (6) galaxias enanas idénticas ubicadas de forma simétrica respecto al centro del grupo que seguirá una trayectoria parabólica hacia el halo de la Vía Láctea.

Propiedad	Valor asignado
Posición	1 a 4 Mpc
Masa Total	$5.592 \times 10^9 M_{\odot}$
Número de elementos	6
Radio de grupo	100 kpc
Dispersión de velocidades	15.5 km/s

Tabla 6. Valores promedio asignados a la posible asociación progenitora a usar en el modelo.

Condiciones iniciales para enanas sin materia oscura

$$p = r[1 + \cos(\theta)]$$

$$v_r = \frac{dr}{dt} = \sqrt{\frac{\mu}{p}} \sin(\theta)$$

$$v_c = \frac{d\theta}{dt} = \sqrt{\frac{\mu}{p}} [1 + \cos(\theta)]$$

$$\mu = G(M_1 + M_2)$$

Parámetro	Valor asignado		
Distancia inicial (Mpc)	4	2	1
Ángulo	150°	150°	150°
Masa asociación ($M_\odot$)	6×10^7	6×10^7	6×10^7
Parámetro de impacto (kpc)	536	268	134
Posición (x,z) (kpc)	(-3464.1, 2000)	(-1732, 1000)	(-866, 500)
Velocidad Radial (km/s)	44.2	62.6	88.5
Velocidad Circular (km/s)	11.9	16.8	23.7

Tabla 7. Condiciones iniciales para la caída de una asociación de galaxias enanas libres de materia oscura

Resultados sin materia oscura para 1 Mpc

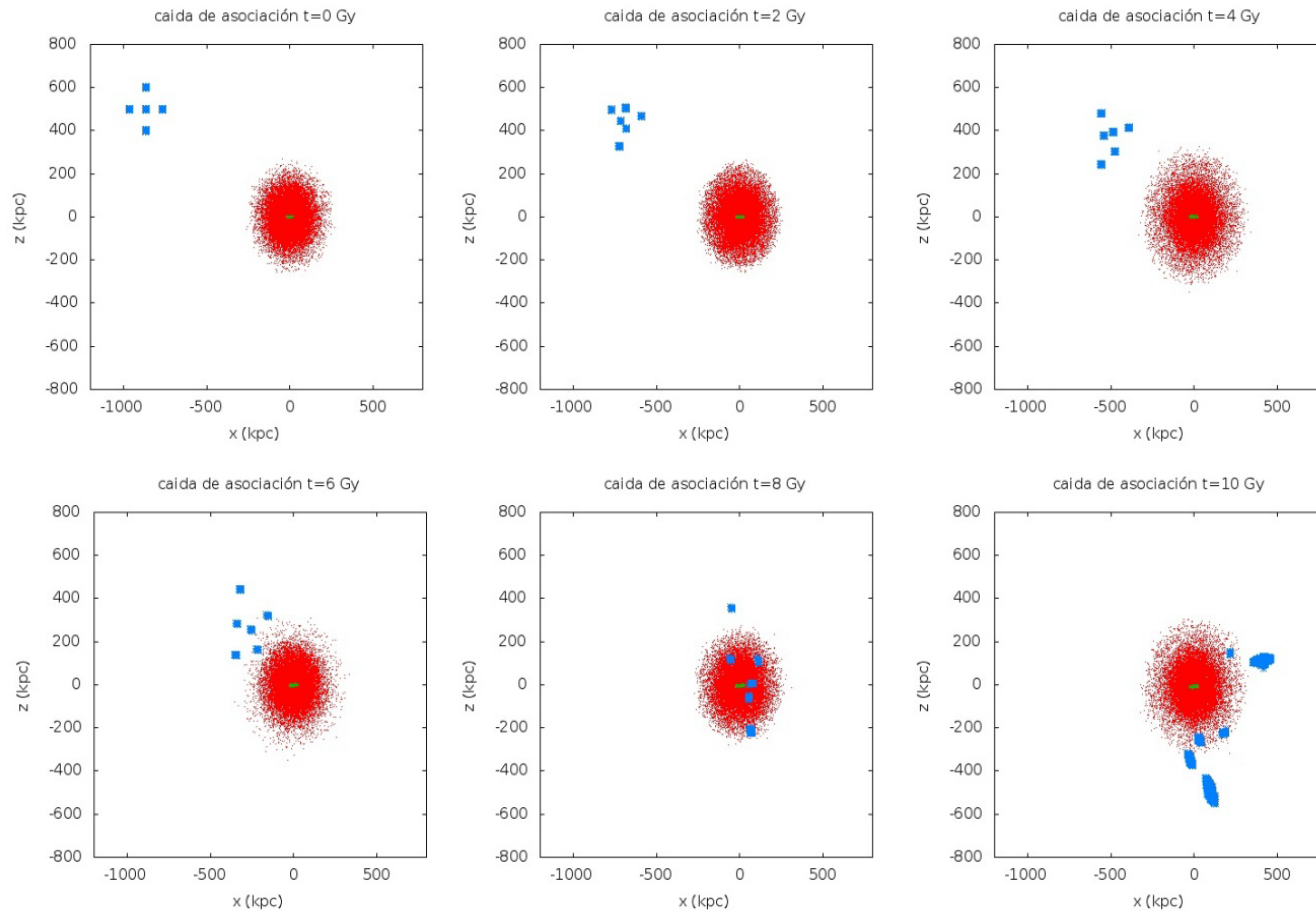
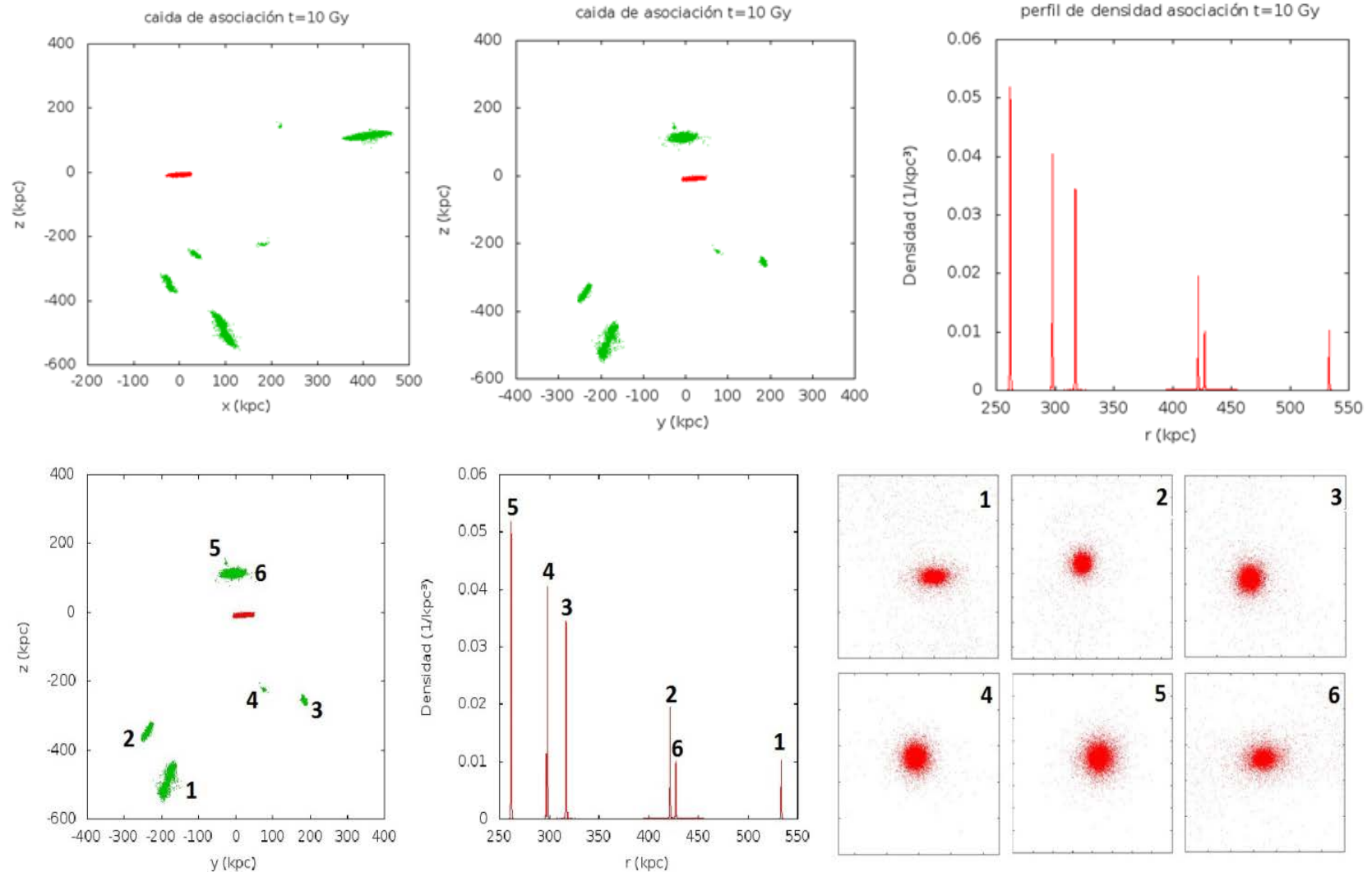
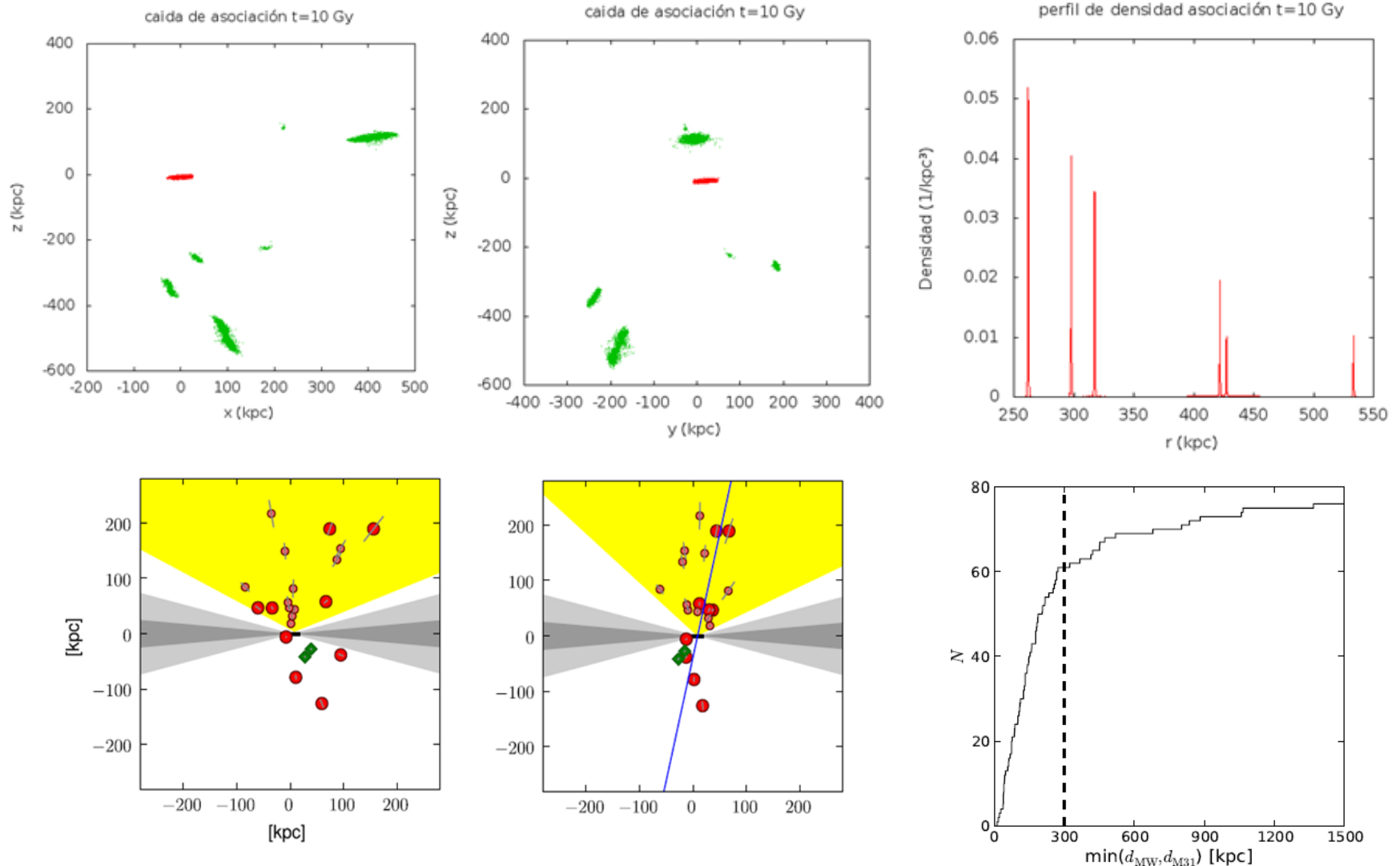


Figura 22. Muestra de snapshots cada 2 Gy para la caída de una asociación de galaxias enanas libres de materia oscura ubicadas inicialmente a 1 Mpc.

Resultados sin materia oscura para 1 Mpc



Resultados sin materia oscura para 1 Mpc



Condiciones iniciales para enanas con materia oscura

$$p = r[1 + \cos(\theta)]$$

$$v_r = \frac{dr}{dt} = \sqrt{\frac{\mu}{p}} \sin(\theta)$$

$$v_c = \frac{d\theta}{dt} = \sqrt{\frac{\mu}{p}} [1 + \cos(\theta)]$$

$$\mu = G(M_1 + M_2)$$

Parámetro	Valor asignado	
Distancia inicial (Mpc)	2	1
Ángulo	150°	150°
Masa asociación ($M_{\odot}$)	5.59×10^9	5.59×10^9
Parámetro de impacto (kpc)	268	134
Posición (x,z) (kpc)	(-1732, 1000)	(-866, 500)
Velocidad Radial (km/s)	62.8	88,7
Velocidad Circular (km/s)	16.8	23,8

Tabla 8. Condiciones iniciales para la caída de una asociación de galaxias enanas con materia oscura

Resultados con materia oscura para 1 Mpc

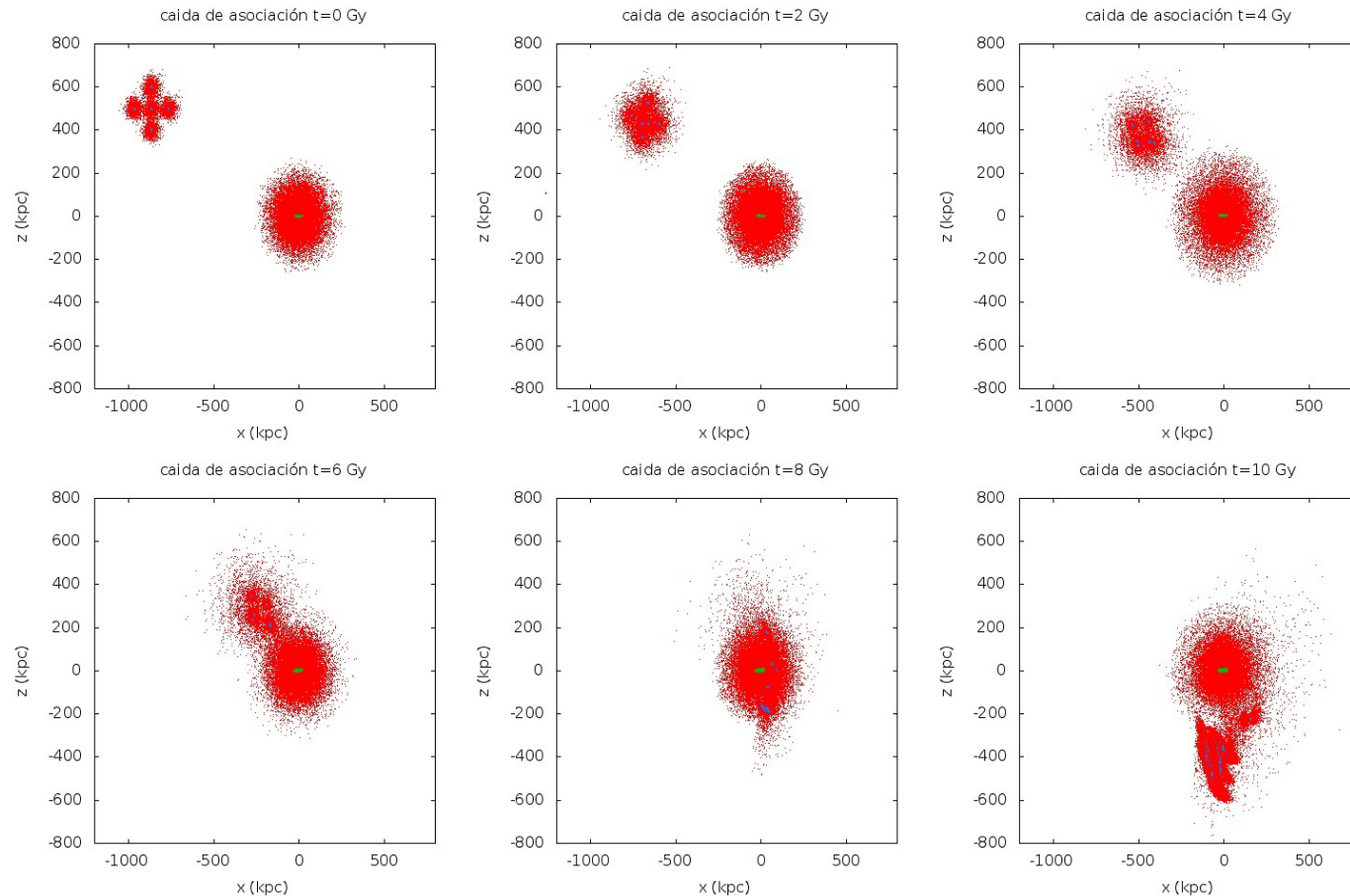


Figura 28. Muestra de snapshots cada 2 Gy para la caída de una asociación de galaxias enanas con materia oscura ubicadas inicialmente a 1 Mpc.

Resultados con materia oscura para 1 Mpc

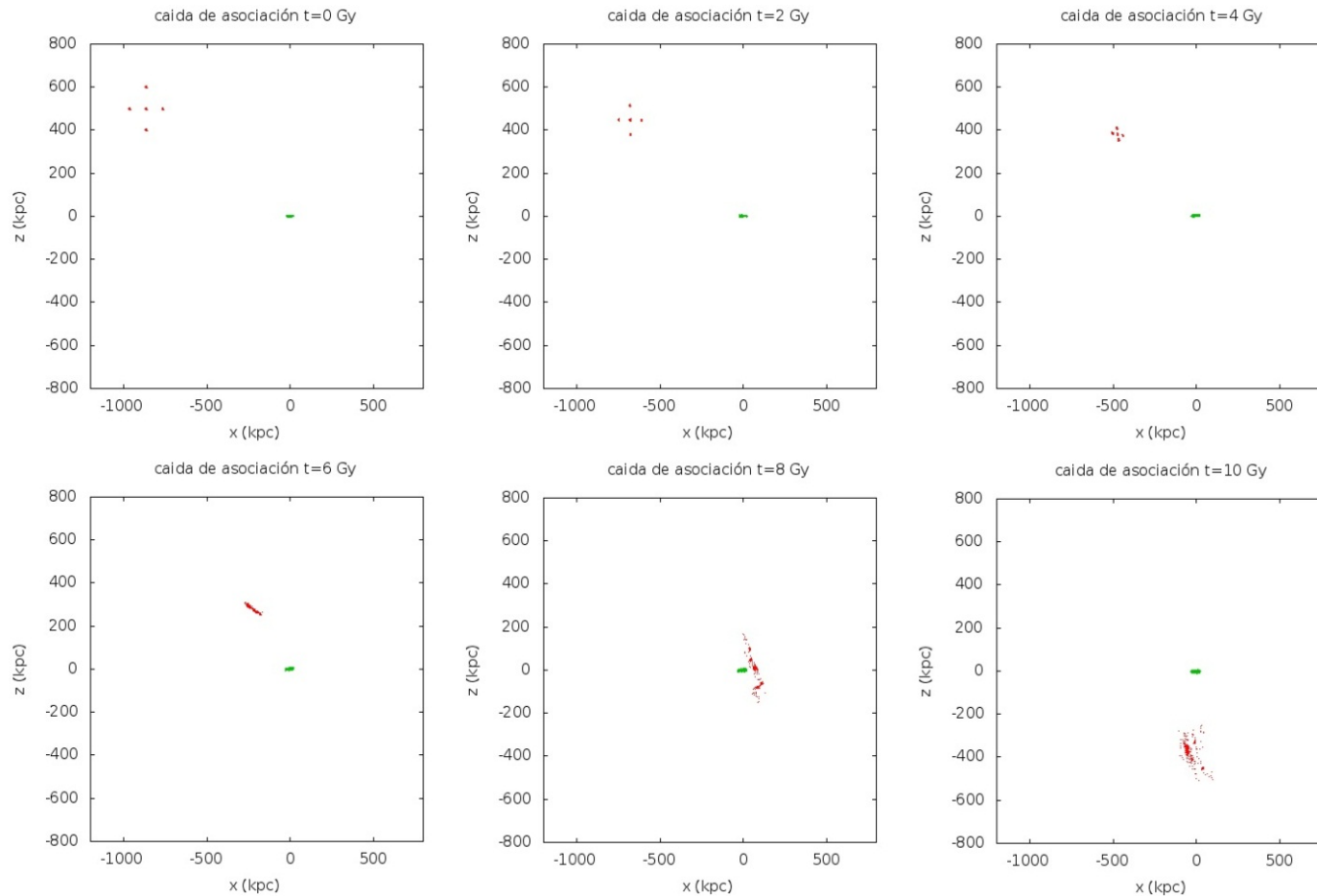
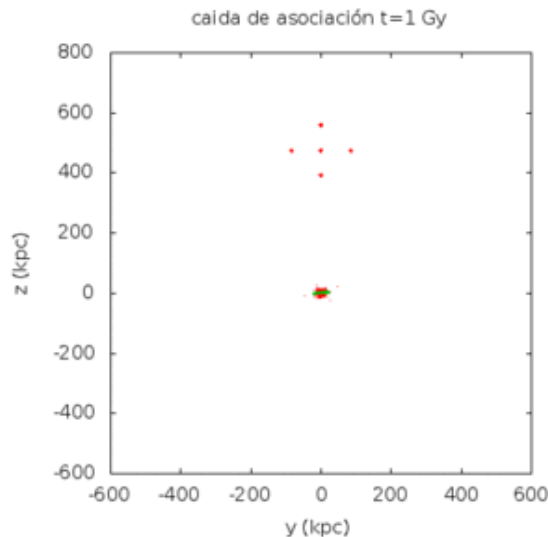
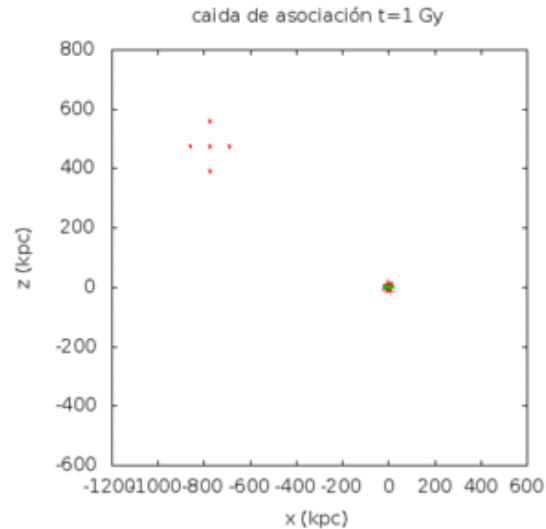


Figura 31. Muestra de snapshots cada 2 Gy para la caída de una asociación de galaxias enanas con materia oscura ubicadas inicialmente a 1 Mpc y cambio en la dirección de las velocidades.

Condiciones iniciales para enanas con materia oscura



Parámetro	Valor asignado
Distancia inicial	1 Mpc
Ángulo	150°
Masa asociación	$5.59 \times 10^9 M_{\odot}$
Parámetro de impacto	134 kpc
Posición (x,z)	(-866, 500) kpc
Velocidad Radial	88,7 km/s
Velocidad Circular	23,8 km/s
Dispersión de velocidades	15,5 km/s

Tabla 8. Condiciones iniciales para la caída de una asociación de galaxias enanas con materia oscura ubicada a 1 Mpc de la Vía Láctea.

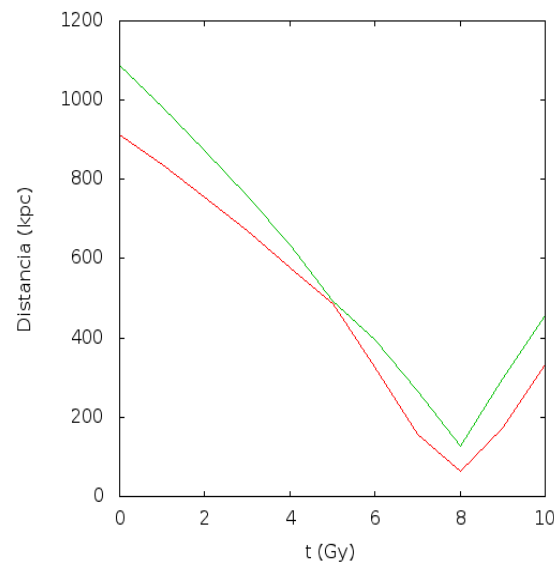
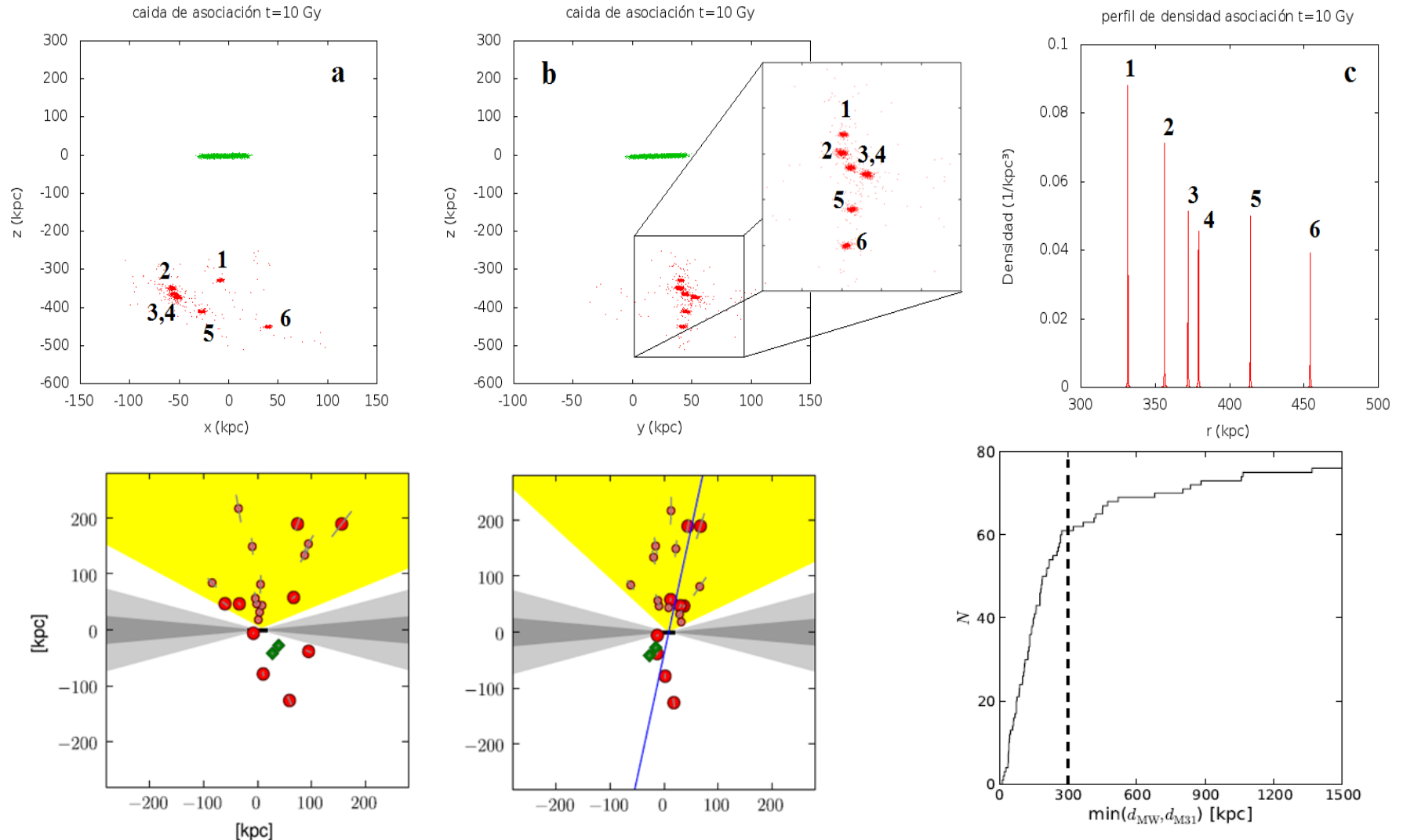


Fig. 32. Distancia de la asociación en función del tiempo, la línea roja hace referencia a la enana que se encuentra más cerca de la Vía Láctea y la línea verde a la más lejana. Sobre los 8 Gy se presenta la distancia pericéntrica de la órbita de la asociación.

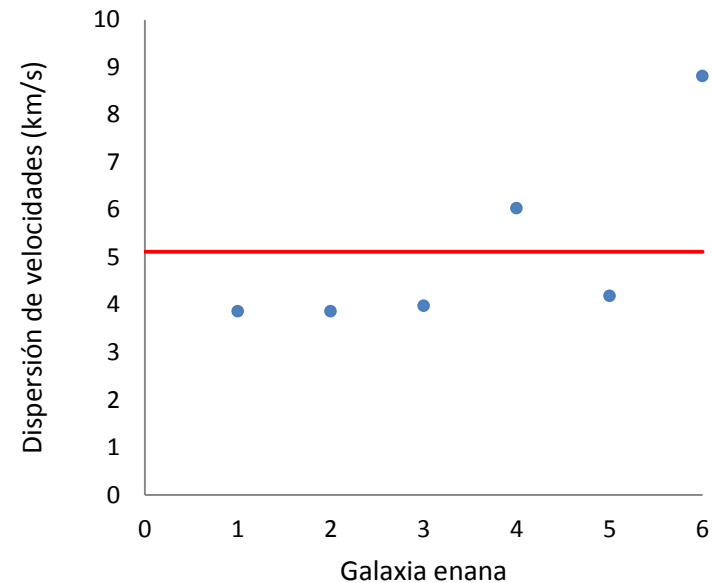
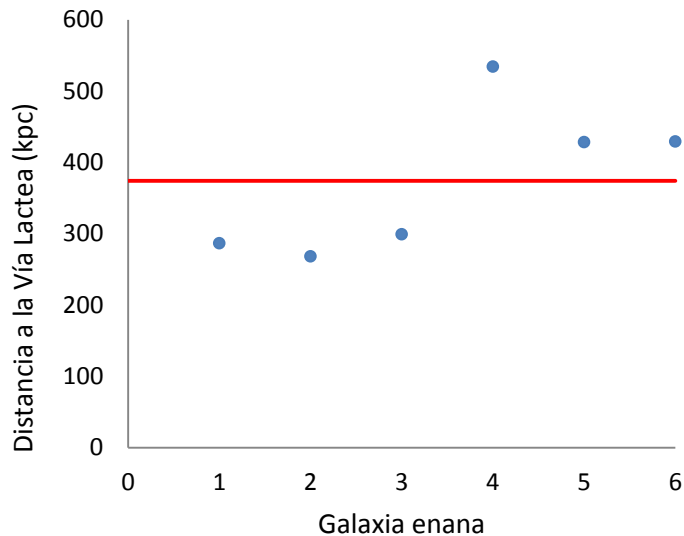
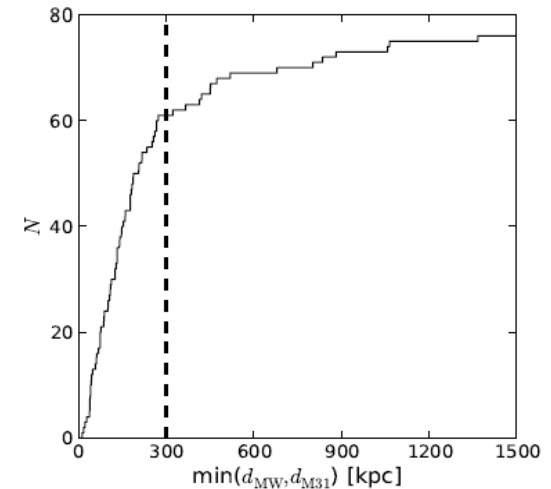
Simulaciones y resultados con materia oscura



Resultados sin y con materia oscura

Sin halo de materia oscura:

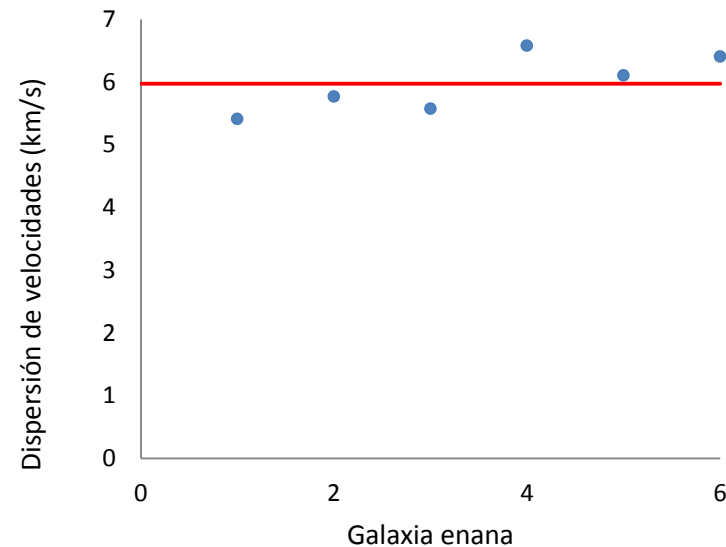
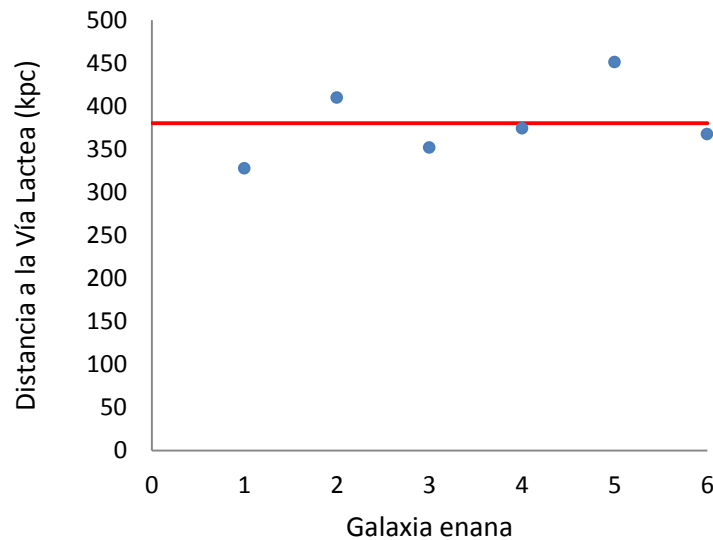
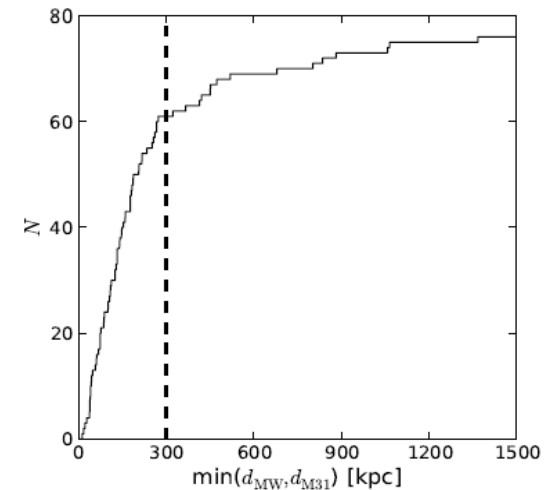
	distacia Via Láctea $R_{eg}(\text{kpc})$	distacia desde el Sol $R_{es}(\text{kpc})$	dispersión de velocidades σ (km/s)	Velocidad radial media v_r (km/s)
enana1	286.60	288.26	3.87	104.25
enana2	267.97	266.67	3.86	1.89
enana3	299.02	303.47	3.98	155.85
enana4	534.17	531.14	6.03	128.22
enana5	428.31	423.51	4.19	138.78
enana6	428.96	428.53	8.81	128.50
promedios	374.17	373.60	5.12	131.12



Resultados sin y con materia oscura

Con halo de materia oscura:

	distacia Via Láctea $R_{eg}(\text{kpc})$	distacia desde el Sol $R_{es}(\text{kpc})$	dispersión de velocidades σ (km/s)	Velocidad radial media v_r (km/s)
enana1	327.40	327.97	5.41	146.41
enana2	409.80	410.34	5.77	119.47
enana3	351.71	352.21	5.57	126.06
enana4	374.08	374.82	6.58	132.01
enana5	450.93	451.37	6.10	149.28
enana6	367.35	367.93	6.41	143.15
promedios	380.21	380.77	5.97	136.06



Resultados sin y con materia oscura

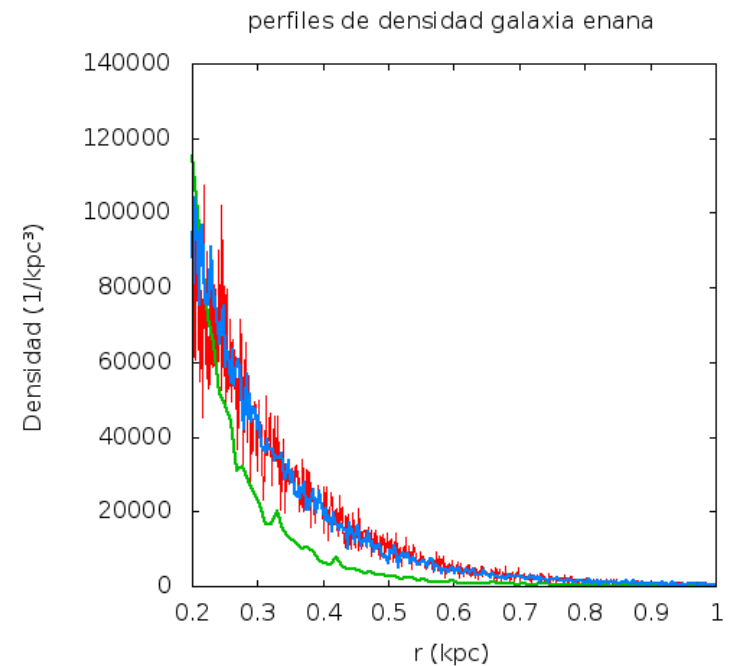
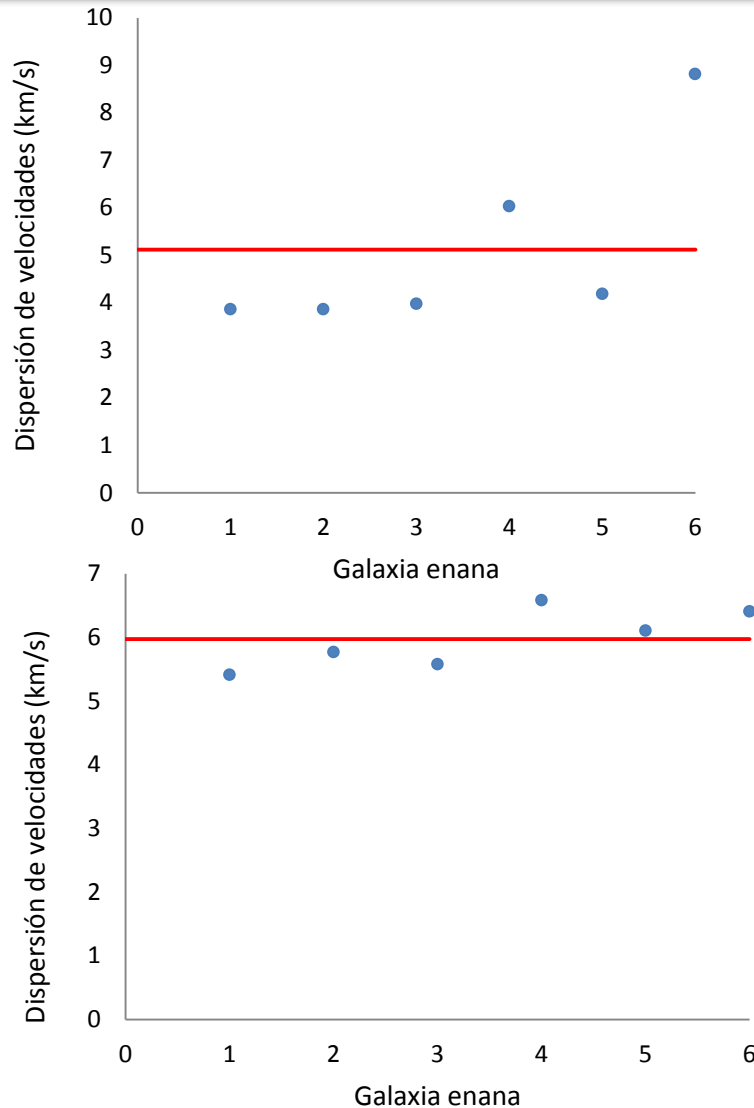


Figura superior izquierda: Dispersión de velocidades para galaxias enanas sin halo de materia oscura.

Figura inferior izquierda: Dispersión de velocidades para galaxias enanas con halo de materia oscura.

Figura superior derecha: Perfiles de densidad de las galaxias enanas antes (rojo) y después sin materia oscura (azul) y con halo de materia oscura (verde).

Conclusiones

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en las primeras simulaciones realizadas, y teniendo en cuenta que la geometría fue propuesta para una trayectoria parabólica con las condiciones iniciales mencionadas en cada una de ellas:

- Sobre la formación del disco de satélites de la Vía Láctea: descartamos asociaciones de galaxias enanas que se encontraran en distancias iguales o mayores a 2 Mpc debido a que su tiempo de caída es superior a un tiempo de Hubble. Así mismo, se puede afirmar que asociaciones de galaxias periféricas al Grupo Local ubicadas a estas distancias no podrían ser considerados como objetos que en un futuro pudiesen hacer parte de esta estructura del disco de satélites siguiendo este tipo de órbitas.

Conclusiones

Partiendo de los resultados de las simulaciones desarrolladas para las galaxias enanas con y sin halo de materia oscura se observan aspectos favorables y desfavorables para el problema del disco de satélites de la Vía Láctea con respecto a sus propiedades morfológicas, la distribución espacial y distancias de ubicación.

- En cuanto a la morfología de las galaxias enanas: luego de 10 Gy de interacción con la Vía Láctea se observa que cuando se encuentran envueltas por un halo de materia oscura estas se mantienen más compactas pese a los efectos de fuerzas de marea. Esto contribuye al hecho de considerar que la presencia de halos de materia oscura para las galaxias enanas.

Conclusiones

Partiendo de los resultados de las simulaciones desarrolladas para las galaxias enanas con y sin halo de materia oscura se observan aspectos favorables y desfavorables para el problema del disco de satélites de la Vía Láctea con respecto a sus propiedades morfológicas, la distribución espacial y distancias de ubicación.

- En cuanto a distancias de ubicación que presentan las galaxias enanas alrededor de la Vía Láctea: las distancias en las que se ubican se ajusta mejor para el modelo libre de materia oscura teniendo en cuenta que la mayoría de las galaxias se encuentran a distancias entre 280 kpc y 500 kpc.

Referencias bibliográficas

- Angus G. et. al. (2011). Using dwarf satellites proper motions to determine their origin. MNRAS, 416: 1401-1409
- Binney J. & Tremaine S. (2008). *Galactical Dynamics*, Princeton University U.K. Second Edition. ISBN: 987-0691130279 p. 904
- Bournaud, F. and Duc, P. A. *From tidal dwarf galaxies to satellite galaxies*. Astronomy & Astrophysics manuscript no. TDG, 2013, p. 17
- Casallas A. (2012). *Estudio de la formacion del disco de satelites de la Vía Láctea (DoS) como un grupo de progenitores que entra al halo de la Galaxia*. Trabajo final de Maestría, Facultad de Ciencias, Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Casas R., Arias V., Peña K. & Kroupa P. (2012) *Dwarf spheroidal satellites of the Milky Way from dark matter free tidal dwarf galaxy progenitors: maps of orbits*. arXiv:1205.5029v1 Astro-ph. 22 de mayo de 2012.
- Casas R., Arias V., Camargo Y. & Peña K. (2008). Satélites esferoidales enanos de la Vía Láctea desde progenitores masivos libres de materia oscura. RCF, 40:229.
- Cubillos D. (2013). *Estudio de la formación de galaxias enanas esferoidales satélite de la Vía Láctea mediante la simulación de colisión de dos galaxias*. Trabajo final de Maestría, Facultad de Ciencias, Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Da Costa G. (1999). *The Dwarf Spheroidal Galaxies in the Galactic Halo*. In Gibson, B. K., Axelrod, R. S. and Putman, M. E., Vol 165, Society of the Pacific Conference Series, Page 153.
- Esquivel O. & Fuchs B. (2008). *Dynamical friction force exerted on spherical bodies*. RevMexAA, 34, 83-86.
- Forero J. et al. (2013). *The kinematics of the Local Group in a cosmological context*. ApJ. Vol. 767, 6 pp.
- Henriquist L. (1990). *An analytical model for spherical galaxies and bulges*. ApJ. vol. 356, p. 359-364
- Hodge P. (1971). *Dwarf Galaxies*. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. Vol. 9 p. 35.
- Iafrate G. et al. (2010). *La secuencia de Hubble*. INAF- Astronomical Observatoru of Trieste.
- Kahn F. & Woltjer L. (1959). *Intergalactic Matter and the Galaxy*. ApJ Vol. 130 p 705

Referencias bibliográficas

- Klessen R. & Kroupa P. (1998). *Dwarf Spheroidal Satellite Galaxies without Dark Matter: Results from two different numerical techniques*. The astrophysical journal, 498: 143-155, mayo 1 1998.
- Klypin A., Kravtsov A. & Valenzuela O. (1999). "Where are the missing galactic satellites?". ApJ. Vol 522, p. 82-92
- Klypin A., Zhao H. & Somerville R. (2002). *Λ CDM-based Models for the Milky Way and M31 I: Dynamical Models*. ApJ 573: 597-613.
- Kroupa P. Theis C. & Boily C. (2005). *The great disk of Milky-Way satellites and cosmological sub-structures*. Astronomy and Astrophysics. Vol. 431, o 517-521.
- Lokas, E. L. (2011). *Dark matter in dwarf galaxies of the Local Group*, arXiv: 1112.0438v1.
- Longair M. (1998). *Galaxy formation*. University of Cambridge. United Kingdom. p. 536. ISBN: 978-3540734772
- Martínez C. (2011). *Estudio del origen y evolución de la galaxia sagitario mediante simulaciones numéricas de N-Cuerpos*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Mateo, M. (1998). *Dwarf Galaxies of the Local Group*. Annual Review of Astronomy & Astrophysics, 36:435–506.
- Mayer L. (2010). *Environmental Mechanisms Shaping the Nature of Dwarf Spheroidal Galaxies: The View of Computer Simulations*. Institute for Theoretical Physics, University of Zürich, Vol. 2010 Article ID, 278434, p. 21
- Metz, M., Kroupa, P., Jerjen, H. (2007). *The spatial distribution of the Milky Way and Andromeda satellite galaxies*. MNRAS. 374, 1125
- Metz, M., Kroupa, P., Jerjen, H. (2009). *Discs of satellites: the new dwarf spheroidals*, MNRAS, 394, 2223
- Metz, M., Kroupa, P., Libeskind, N. (2008). *The Orbital Poles of Milky Way Satellite Galaxies: A Rotationally Supported Disc-of-Satellites*, ApJ, Vol 680, pp. 287-294
- Mo H., Van den Bosch F. & White S. (2010). *Galaxy Formation an evolution*. Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-521-85793-2.
- Navarro J., Frenk C. & White S. (1997). *A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering*. ApJ, Vol. 490 pp. 493-508

Referencias bibliográficas

- Pawlowski, M., Kroupa P. & Jerjen H. (2013). *Dwarf galaxy planes: the discovery of symmetric structures in the Local Group*. MNRAS, 435, 1928
- Pawlowski, M. et al. (2014). *Co-orbiting satellite galaxy structures are still in conflict with the distribution of primordial dwarf galaxies*. MNRAS, 442, 2362-2380.
- Plummer H. (1911). *On the problem of distribution in globular star clusters*. MNRAS. Vol 71 p. 460-470
- Russel L. & Kenneth M. (1992). *A new member of the Local Group - The Tucana dwarf galaxy*. Astronomical Journal. Vol. 103 p. 81-83.
- Sawala T. (2011). *Simulation of Dwarf Galaxy Formation*. An der Fakultät für Physik, Ludwig Maximilians Universität-München, 07-01-2011.
- Springel V. and White S. (1999). *Tidal tails in cold dark matter cosmologies*. MNRAS. Vol. 307, pp. 162-178
- Springel et al. (2005). *Modelling feedback from stars and black holes in galaxy mergers*. MNRAS. Vol. 361, pp. 776-794
- Springel V. (2005). *The cosmological simulation code GADGET-2*. MNRAS, 365: 1105-1134.
- Tully B. et. al. (2006). *Association of Dwarf Galaxies*. ApJ, 132: 729-748
- Van de Kamp P. (1963). *Elements of Astromechanics*. H. Freeman, San Francisco, California.
- Van den Bergh S. (2000). *The Galaxies of the Local Group*. Cambridge University, UK. Cambridge Astrophysics Series Vol. 35. ISBN: 0521651816
- Whiting A et. al. (1992). *A new galaxy in the local group: The antlia dwarf galaxy*. Astronomical Journal. Vol. 114 p 996-1001
- Yahil A. and Vidal N. (1977). *The Velocity Distribution of Galaxies in Clusters*. ApJ, Vol. 214, p 347-350.
- Zhao H. (2004). *Dynamical friction for dark halo satellites: effects of tidal mass loss and growing host potential*. MNRAS Vol. 351 pp. 891-902.

Gracias

