

Simulación de colisión de dos galaxias para estudiar la formación de las galaxias enanas esferoidales satélites de la Vía Láctea

Simulation collision of two galaxies for the study of formation dwarf spheroidal galaxies satellites of the Milky Way

Omar Alfonso Bohórquez Pacheco^{a*}, Rigoberto A Casas Miranda^a.

^aGrupo astrofísica Universidad Nacional de Colombia.

Aceptado Diciembre 2014; Publicado en línea Marzo 2015

ISSN 2256-3830

Resumen

En la actualidad dentro del área de la astrofísica se presentan un sinnúmero de problemas sin resolver, entre ellos el problema del origen de las galaxias satélite de la Vía Láctea. Estas galaxias se caracterizan por ser galaxias de tipo enana esferoidal. La mayoría de estas se encuentran distribuidas en un plano que se encuentra casi de forma perpendicular al plano de la galaxia, este plano es conocido con el nombre de disco de satélites (DoS o VPOS). En el presente estudio se realizaron simulaciones numéricas de N-cuerpos con el software GADGET2 para determinar si la distribución espacial y de masa de las galaxias satélite de la vía láctea tuvo origen a través de una colisión entre dos galaxias de disco.

Palabras claves: Grupo Local, Galaxia enana, Disco de satélites.

Abstract

At present within the area of astrophysics countless unsolved problems are presented, including the problem of the origin of the satellite galaxies of the Milky Way. These galaxies are characterized by type dwarf spheroidal galaxies. Most of these are distributed in a plane that is almost perpendicular to the plane of the galaxy, this plane is known as disk of satellites (DoS or VPOS). In this study numerical N-body simulations with Gadget2 software were performed to determine whether the spatial and mass distribution of the satellite galaxies of the Milky Way originated by a collision between two disk galaxies.

Keywords: Local Group, dwarf Galaxy, Disc satellites.

1. Introducción

La astrofísica presenta un sinnúmero de problemas sin resolver, entre ellos el problema del origen de las galaxias satélite de la vía láctea, estas galaxias se caracterizan por ser galaxias de tipo enana, mejor conocidas como galaxias esferoidales. La mayoría de estas se encuentran distribuidas en un plano perpendicular al plano de la galaxia; (Kroupa et al., 2005) este plano es conocido con el nombre de disco de satélites (DOS).

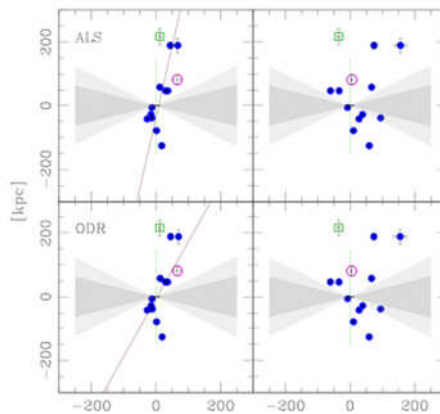
* oabohorquezp@unal.edu.co

Encontrar un modelo que dé cuenta de la cantidad y de la distribución espacial de estas galaxias no ha sido posible, sin embargo, se han presentado varias propuestas de solución, una de las cuales propone que estas tuvieron origen en la colisión de dos galaxias hace ya miles de millones de años Toomre and Toomre (1972). El presente trabajo tiene como objeto realizar simulaciones numéricas de **N-cuerpos** de colisiones entre galaxias que pudieron dar origen al disco de satélites de la vía láctea.

En la astrofísica las galaxias son los constituyentes más básicos, ya que ayudan a la construcción de estructuras a gran escala en el universo, estas se acumulan en grupos o cúmulos de diferentes formas y constituyentes. En este caso la Vía Láctea no es la excepción ya que esta forma parte de un grupo denominado el grupo local **LG**, que al mismo tiempo forma parte del supercúmulo de Virgo. El grupo local o **LG** es una reunión de galaxias compuesta por diferentes tipos de galaxias, de las cuales las más importantes son las galaxias espirales gigantes llamadas Vía Láctea y Andrómeda. Estudios recientes se han estimado los valores de las masas de esta agrupación (Van den Berg 1999) donde se reporta un radio de masa medio de $R_{LG} = 350$ kpc y una masa total de $M_{LG} = (2,3 \pm 0,6) \times 10^{12} M_{\odot}$. En los estudios realizados se encuentra que la mayoría de galaxias pertenecientes al **LG** se encuentran en los subgrupos dominados por la Vía Láctea y Andrómeda.

Las galaxias enanas son estructuras estelares pequeñas, presentan poco brillo superficial y poca cantidad de estrellas con respecto a su masa total. Su contenido metálico es bajo debido a que se componen básicamente de estrellas viejas. Se clasifican morfológicamente en dos grupos: las irregulares dIrrs (Dwarf Irregular), donde aún se forman estrellas, y las enanas esferoidales o dSphs (Dwarf Spheroidals) conocidas por ser la población más dominante debido a su cantidad. La gran importancia de las galaxias enanas radica en que son la población más dominante en el universo local, razón por la cual se convierten en herramienta fundamental para entender la formación y evolución de galaxias. Estas galaxias enanas poseen un número de estrellas bajo con respecto a su masa total y esa falta de materia luminosa se ha interpretado hasta ahora como un halo de materia oscura envolvente. (Lokas 2008, 2011).

Como se puede apreciar en la Figura 1 las galaxias satélites de la vía láctea se encuentran en promedio orientadas sobre un plano que presenta una inclinación de 88° con respecto al disco de la galaxia (Metz et al., 2007)



Grafica 1. Posición de los 11 satélites más cercanos a la Vía Láctea, El disco de la VL se representa con la línea horizontal La línea punteada marca el plano ajustado visto de perfil (Metz et al., 2007)

De la distribución de galaxias enanas satélite cercanas a la Vía Láctea en la actualidad no se conoce con claridad su origen, su formación y distribución. El estudio de las galaxias enanas se hace relevante por su alto contenido de estrellas viejas que tienen una metalicidad baja y que pueden dar información de propiedades del universo en sus inicios, es por esta razón que el estudio de las dSph satélites de la Vía Láctea es de vital importancia. Además, su importancia también radica en que la distribución de galaxias satélite de la vía láctea contradicen las predicciones hechas por el modelo cosmológico de la materia oscura fría (CDM).

Con la teoría CDM la distribución de subestructuras dentro de halos como el de la Vía Láctea debería ser isotrópica, lo cual (Kroupa et al. 2005) mostraron es incorrecto.

2. Metodología

El modelo que se utiliza en este trabajo está basado en un escenario en el cual cerca de 10 Gyr atrás la joven Vía Láctea colisionó con otra galaxia de disco.

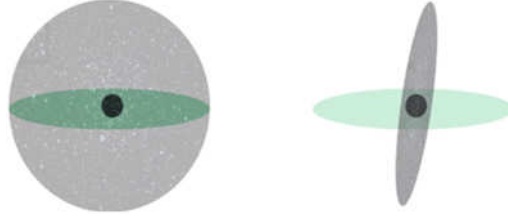


Fig. 1 Isotropía materia oscura fría (Izquierda), Anisotropía Kroupa (Derecha).

En dicha colisión se generó una mezcla de ambas galaxias y a su vez escombros de marea que dieron paso a la formación y agrupación de estrellas, formándose así pequeños subsistemas que orbitan a la galaxia remanente, llamadas galaxias enanas satélites Okazaki and Taniguchi (2000).

Para poder recrear las condiciones de colisión, primero se genera un modelo teórico de la galaxia de disco, en este caso el potencial de esta estructura se define en términos de los potenciales de tres componentes (Halo, Disco y Bulbo).

Para el Halo y el Bulbo se tiene el potencial de Hernquist (1990).

$$\phi_H(r) = -\frac{GM}{r+a} \quad (1)$$

Donde a es la longitud de escala del esferoide que viene dada por:

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

Con r_s es el factor de escala de un esferoide con perfil NFW (Springel et al. 2005).

Para el disco se usa el modelo de disco exponencial (Springel and White, 1999) con perfil de densidad:

$$\rho_d(R, z) = \frac{\Sigma(R)}{2z_0} \operatorname{sech}^2\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (3)$$

Donde se tiene que:

$$\Sigma(R) = \Sigma_0 e^{-\frac{R}{R_d}} = \frac{M_d}{2\pi R_d^2} e^{-\frac{R}{R_d}} \quad (4)$$

En donde se tiene que M_d es la masa del disco R_d su escala de longitud z_0 es el espesor del mismo.

Con estos perfiles se construyeron las dos galaxias que van a entrar en interacción y se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 1. Parámetros de las galaxias de disco.

	Símbolo	Vía Láctea	Galaxia de disco	Descripción
Halo	M_H	$9.05438 \cdot 10^{11}$	$3.01267 \cdot 10^{11}$	Masa halo
	a_H	34.6 Kpc	22.7 Kpc	Longitud de escala
Disco	M_d	$5.00 \cdot 10^{10}$	$1.66 \cdot 10^{10}$	Masa Disco
	R_d	4.0 Kpc	1.71 Kpc	Longitud de escala
Bulbo	M_b	$2.009 \cdot 10^{10}$	$4.97 \cdot 10^9$	Masa Bulbo
	a_b	6 Kpc	3.84 Kpc	Longitud de escala

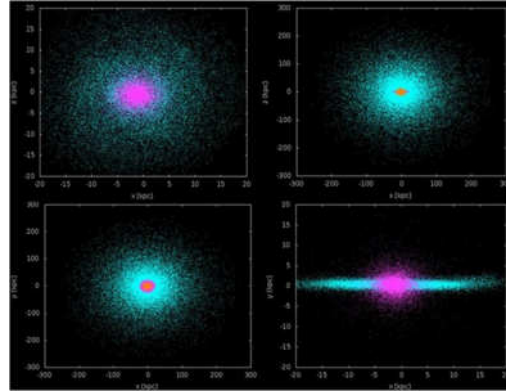


Fig. 2 Características morfológicas y dimensionales de la Vía Láctea, 1 y 4 disco y bulbo, 2 y 3 halo, disco y bulbo.

La geometría de la colisión se define en términos de una órbita parabólica fundamentada en el modelo de (Van de Kamp 1964) y recordando que las órbitas parabólicas generan colas de marea prominentes (Binney, J, Tremaine, S. 1994).

$$r = \frac{P}{1 + e \cos(\theta)} \quad (5)$$

A continuación se presenta la tabla 2 con estos datos calculados para cada galaxia:

Tabla 2. Parámetros debidos a la geometría de la colisión.

Símbolo	Galaxia de disco	Descripción
P	6.5 Kpc	Parámetro de impacto
Θ	165.59°	Ángulo
μ	$1.724 \cdot 10^{32} \text{ Nm}^2/\text{kg}$	Parámetro gravitatorio
v_θ	29.16 km/s	Velocidad perpendicular a r
v_r	230.69 km/s	Velocidad sobre r
M_v/M_d	3	Relación de masas

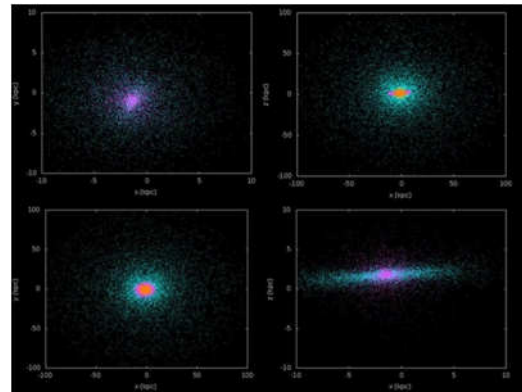


Fig. 3 Características morfológicas y dimensionales de la galaxia de disco, 1 y 4 disco y bulbo, 2 y 3 halo, disco y bulbo.

Siendo p el parámetro (Namboodiri, 2008) de impacto e la excentricidad y θ el ángulo medido respecto al eje y en un sistema de coordenadas cartesianas, partiendo de (5) se encuentra que la velocidad sobre el radio vector y la velocidad perpendicular a este son:

$$v_\theta = \sqrt{\frac{\mu}{P}} [1 + e \cos(\theta)] \quad (6)$$

$$v_r = \sqrt{\frac{\mu}{p}} \text{sen}(\theta) \quad (7)$$

Donde μ es el llamado parámetro gravitatorio (Namboodiri, 2008) y viene dado por la expresión:

$$\mu = G(M + m) \quad (8)$$

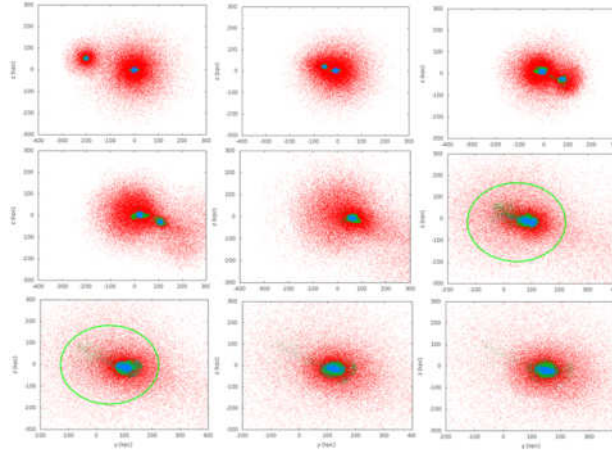


Fig. 4. Se aprecian las colas de marea que son las estructuras que pueden dar origen a las galaxias satélite de la vía Láctea

4. Conclusiones

Se pretenden realizar más simulaciones ya que con las realizadas hasta el momento no se han podido encontrar las características buscadas para las galaxias enanas satélite de la vía Láctea, sin embargo con el parámetro de impacto de 6,5 kpc y la relación de masa de 1 a 3 se presenta una gran pérdida en las características morfológicas de la Vía Láctea lo cual no es coherente con las observaciones.

Referencias

- [1] Kroupa, C.Theis, and C. M. Boily. *The great disk of milky-way satellites and cosmological sub-structures. Astronomy and Astrophysics*, 2005, **431(2)**, p. 517–521.
- [2] Toomre, A. and Toomre, J. Galactic Bridges and Tails. *ApJ*, **178**, 1972, p. 623–666.
- [3] Van den Bergh, S. The Local Group of galaxies. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, **93**, 1999, p.175.
- [4] Lokas, E.L. The Milky Way’s Neighbors. *Academia: Magazine of the Polish Academy of Sciences*, **2**, 2008, p. 12–15.
- [5] Lokas, E. L. Dark matter in dwarf galaxies of the Local Group, 2011, ArXive-prints.
- [6] Metz, M., Kroupa, P, and Jerjen, H. The spatial distribution of the Milky Way and Andromeda satellite galaxies. *MNRAS*, **374**, 2007, p. 1125–1145.
- [7] Okazaki, T. and Taniguchi, Y. Dwarf Galaxy Formation Induced by Galaxy Interactions. *ApJ*, **543**, 2000, p. 149–152.
- [8] Hernquist, L. An analytical model for spherical galaxies and bulges. *ApJ*, **356**, 1990, p. 359–364.
- [9] Springel, V., Di Matteo, T., and Hernquist, L. Modelling feedback from stars and black holes in galaxy mergers, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc*, **361**, 2005, p. 776–794.
- [10] Springel, V. and White, S. D. M. Tidal tails in cold dark matter cosmologies. *MNRAS*, **307**, 1999, p.162–178.

- [11] Namboodiri, P.M.S. Some properties of merger remnants of interacting galaxies modelled as $n=4$ polytrope. *Bulletin of the Astronomical Society of India*, **36**, 2008, p. 65–75.
- [12] Van de Kamp, P. *Elements of Astromechanics*. .H. Freeman, San Francisco, California, 1963.
- [13] Binney. J, Tremaine. S. *Galactic Dynamics Second Edition*. Princeton Univ. Press. Princeton, NJ USA, 2008, 1994, p. 856.
- [14] Cubillos. D. *Estudio de la Formación de Galaxias Enanas Esferoidales Satélites de la Vía Láctea Mediante la Simulación del a Colisión de dos Galaxias*, Bogotá, 2013, Trabajo de grado (Master en física).Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Física.