



FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Física  
AS4201-2 Astronomía Experimental

# Cinemática Galáctica

15 de Diciembre, 2016

Profesor: Leonardo Bronfman A.

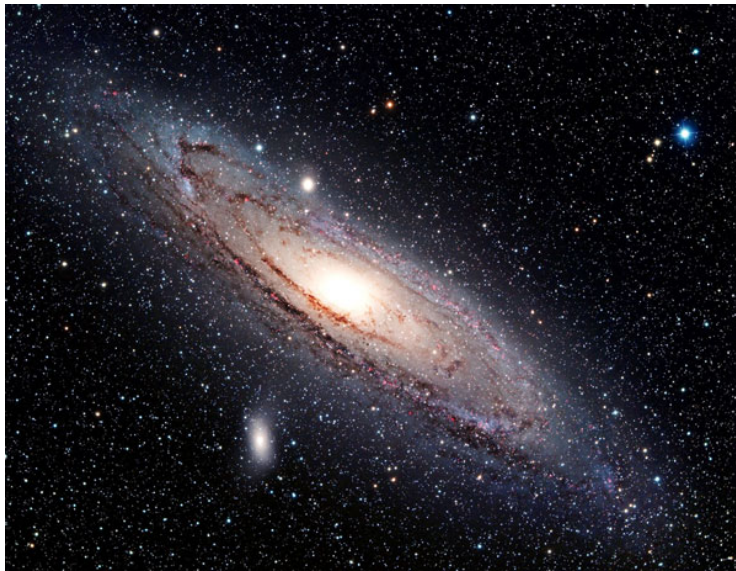
Auxiliar: Gustavo Medina

Alumno: Mariana Muñoz G.

# ***1. Introducción***

La astronomía es una ciencia que se remonta a las antiguas civilizaciones. Particularmente los griegos realizaron importantes contribuciones que formaron la base de esta ciencia. Fueron ellos quienes le dieron el nombre de Vía Láctea a la galaxia en que vivimos por su parecido a la leche derramada. Sin embargo, en ese entonces no se conocía el concepto de galaxia, aunque un astrónomo griego llamado Demócrito fue el primero en sugerir que la Vía Láctea era un conjunto de muchísimas estrellas. No fue hasta el siglo XVII que Galileo Galilei pudo comprobarlo gracias a la invención del telescopio.

En este informe se estudiará una cierta región del cielo con la finalidad de analizar la estructura y la cinemática de nuestra galaxia. Se buscará la curva de rotación de la Vía Láctea y la corrugación del plano galáctico. Además se buscará la distribución de masa que mejor se ajuste a los resultados obtenidos.



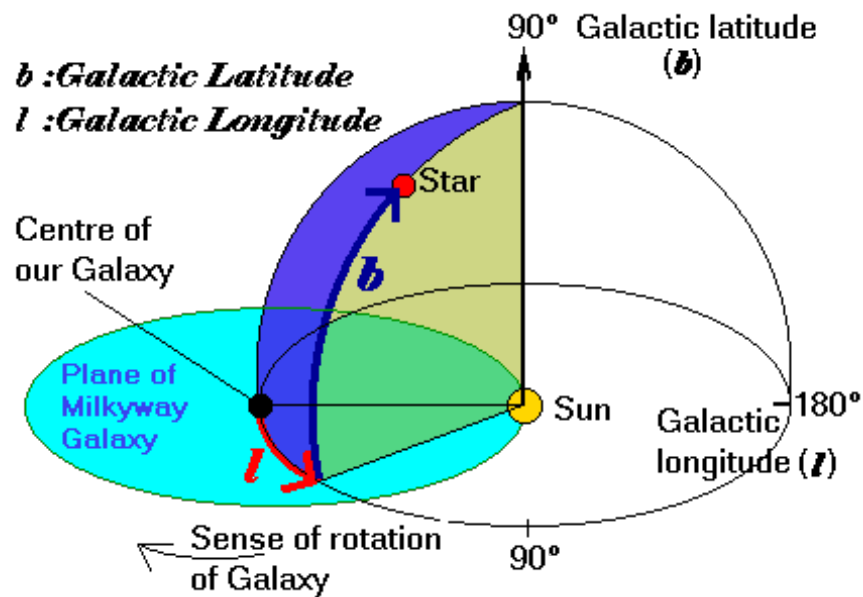
## 2. Conceptos Importantes

### 2.1. Coordenadas Galácticas

Las Coordenadas Galácticas de un cuerpo determinan la posición de este en la Vía Láctea. Este sistema está centrado en el Sol y está alineado con el centro galáctico. Además, el Ecuador celeste se encuentra alineado con el plano de la galaxia. Mediante esto, se definen dos coordenadas que permiten posicionar objetos celeste en la galaxia:

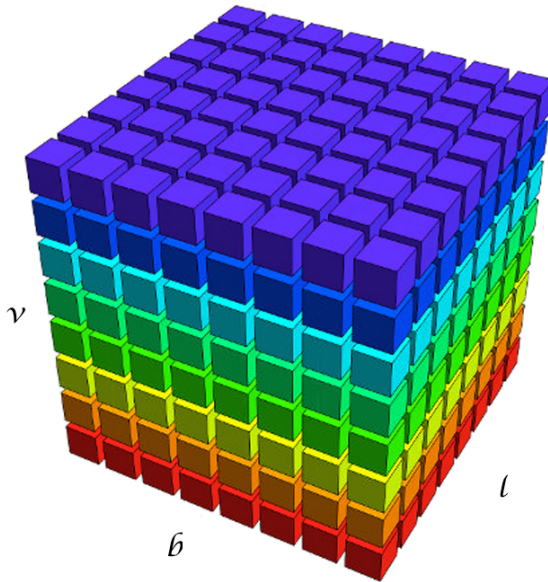
**Longitud galáctica ( $l$ ):** distancia angular medida a lo largo del plano galáctico, variando de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  hacia el este.

**Latitud galáctica ( $b$ ):** distancia angular medida perpendicularmente al plano galáctico, variando de  $0^\circ$  a  $+90^\circ$  hacia el norte y de  $0^\circ$  a  $-90^\circ$  hacia el sur.



## 2.2. Cubo de Datos

Se utilizará un Cubo de Datos de cierta sección del cielo. Los tres ejes de este Cubo de Datos corresponden a la Longitud Galáctica, Latitud Galáctica y la velocidad a la que se mueven los cuerpos.



Los cuerpos observados se encuentran entre los siguientes rangos:

$$300^{\circ} < l < 348^{\circ}$$

$$-2^{\circ} < b < 2^{\circ}$$

Esta región del cielo corresponde al IV cuadrante.

## 2.3. Otros Conceptos

Para obtener tanto la posición como la velocidad de cada cuerpo observado se utilizará el Efecto Doppler, ya que este relaciona la frecuencia recibida con la velocidad relativa.

Por otro lado, se define el concepto de  $V_{\text{LSR}}$  como la velocidad relativa de la materia en la Vía Láctea cerca del Sistema Solar y el concepto de  $V_{\text{RAD}}$  como la velocidad radial relativa, la cual es fácil de calcular utilizando Efecto Doppler.

Datos Conocidos:

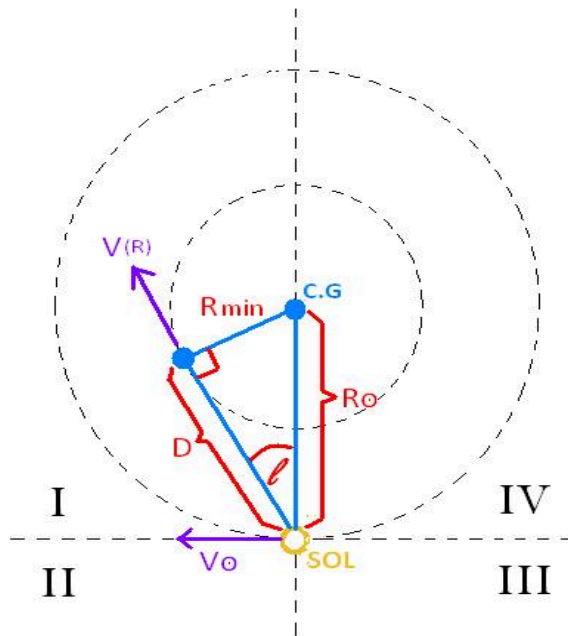
$$R_{\odot} = 8.5 \text{ [kpc]} \quad V_{\odot} = 220 \text{ [km/s]}$$

### 3. Procedimiento y Resultados

#### 3.1. Curva de Rotación de la Galaxia

Una curva de rotación galáctica corresponde al gráfico que relaciona la velocidad de rotación de un cuerpo celeste con su distancia al centro de la galaxia. Estos gráficos son solo razonables para galaxias tipo espirales, como la Vía Láctea, donde su rotación neta es no nula. En contraparte, las galaxias elípticas tienen rotación neta nula, por lo cual no es posible obtener una curva de rotación galáctica.

Si se observa un cuerpo en el primer cuadrante, desde la tierra sólo se observará que llega radiación desde alguna dirección, pero no es posible distinguir que tan lejano o cercano esta el objeto. Ahora bien, si se asume que la velocidad angular disminuye con el radio y se observa dentro del círculo solar, entonces se obtiene que los cuerpos que poseen mayor  $V_{RAD}$  estarán a una distancia menor del centro de la galaxia. Por otro lado, si el cuerpo que se observa se encuentra en el cuarto cuadrante, como es nuestro caso, para menor  $V_{RAD}$  menor será la distancia al centro galáctico.



Utilizando trigonometría se obtienen las siguientes relaciones:

$$R = R_{\odot} \sin(l)$$

$$D = R_{\odot} \cos(l)$$

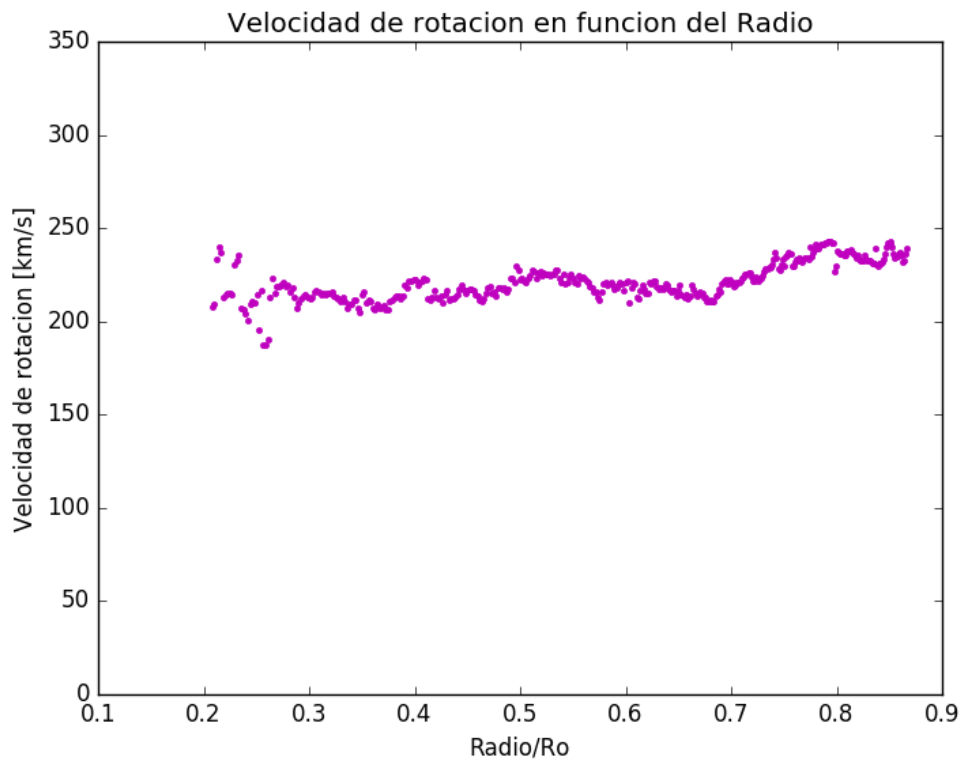
Ahora bien, para encontrar la velocidad tangencial es necesario tener la velocidad terminal para cada punto.

Utilizando relaciones geométricas se obtiene:

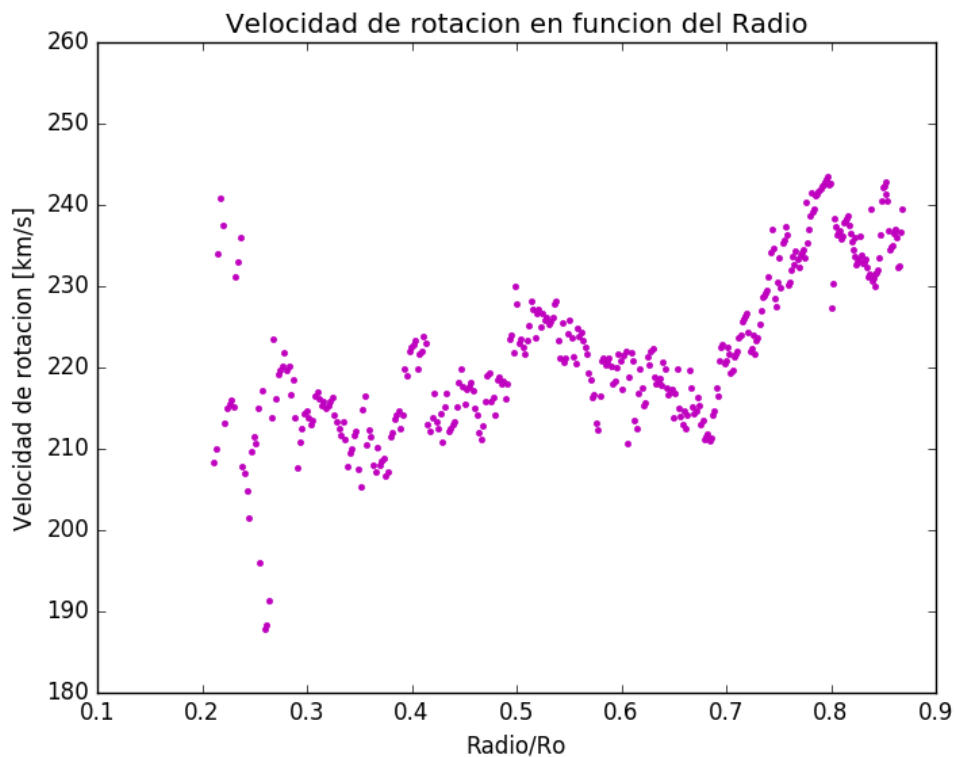
$$V_R = (\omega - \omega_{\odot}) R_{\odot} \sin(l)$$

$$V_{\text{RAD (min)}} = V_{\text{TERMINAL}} = (\omega R_{\odot} \sin(l) - \omega_{\odot}) R_{\odot} \sin(l)$$

Con estas relaciones se puede obtener la velocidad de rotación y se obtiene el siguiente gráfico:



Se puede ver que las velocidades de rotación se encuentran en un rango bastante similar. Sin embargo, se realizará un zoom al gráfico para comprobarlo.



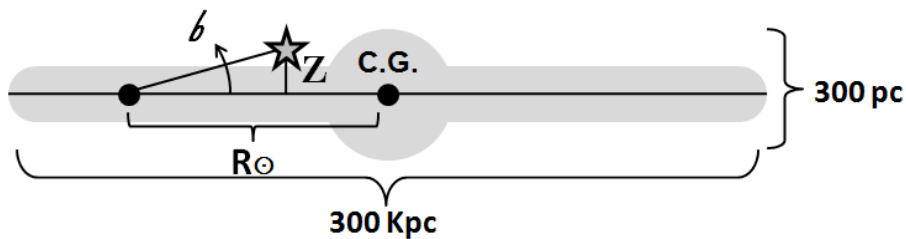
Se puede notar que el rango de las distintas velocidades de rotación va entre 200[km/s] y 250[km/s]. Esta diferencia es muy poca considerando las grandes distancias con las que se está trabajando, por lo tanto, se puede decir que la Velocidad de Rotación de los cuerpos pertenecientes a la Vía Láctea es aproximadamente constante.

Además, se calculó la velocidad de rotación promedio y se obtuvo que era de 222[km/s] aproximadamente.

### 3.2. Corrugación de la Galaxia

Durante mucho tiempo se describió el disco galáctico como una sección delgada y plana de la galaxia, pero ¿Qué tan plano es?. En estudios recientes se comprobó que este presenta una cierta corrugación, lo que implica que la Galaxia es más grande de lo que aparenta.

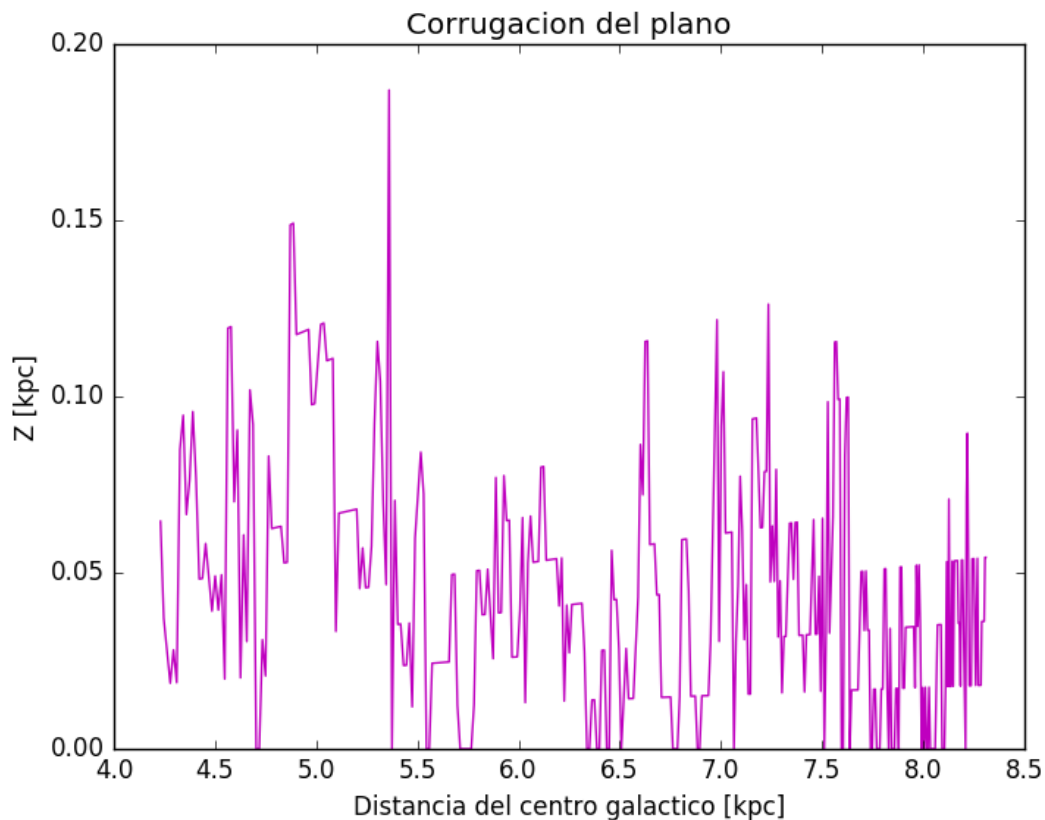
En esta sección se busca probar la corrugación de la Vía Láctea utilizando los datos entregados. Para ello es necesario conocer la altura ( $Z$ ) a la que se encuentra cada cuerpo con respecto al eje Sol-C.G. (ver figura)



Utilizando geometría:

$$Z = D \tan(b) \rightarrow Z = R_{\odot} \cos(l) \tan(b)$$

Conociendo la altura  $Z$ , se obtiene el siguiente gráfico:





Se puede observar que la diferencia entre la altura máxima y la mínima es 0.2[kpc] y claramente la altura no es constante. Por lo tanto, se obtuvo la corrugación del plano galáctico como se esperaba.

### ***3.3. Distribución de Masa***

Hay distintas formas de modelar la distribución de masa de la Vía Láctea. En este trabajo se estudiarán 5 casos distintos.

#### **1. Masa Puntual en el Centro Galáctico**

$$M_1(r) = M_1$$

#### **2. Disco Uniforme**

$$M_2(r) = \pi r^2 \sigma_2$$

#### **3. Esfera Uniforme**

$$M_3(r) = 4 \pi r^3 \rho_3 / 3$$

#### **4. Masa Puntual rodeada por un Disco Uniforme**

$$M_4(r) = M_4 + \pi r^2 \sigma_4$$

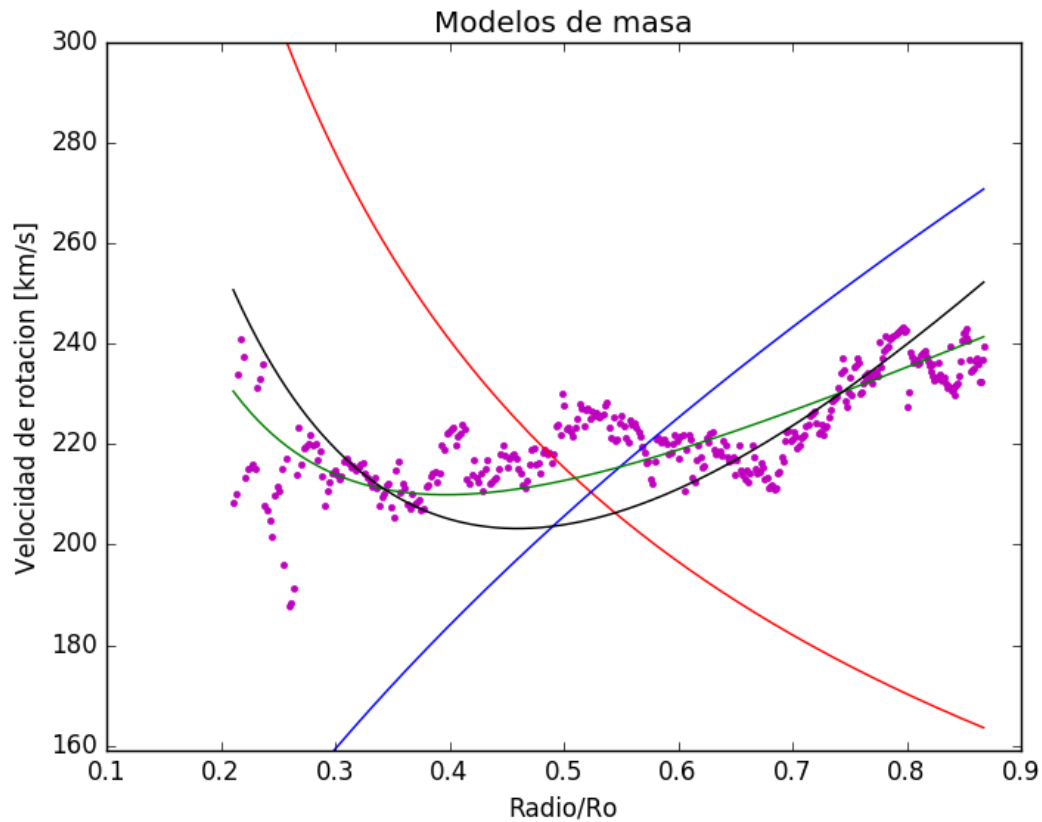
#### **5. Masa Puntual rodeada por una Esfera Uniforme**

$$M_5(r) = M_5 + 4 \pi r^3 \rho_5 / 3$$

Sin embargo, falta encontrar una ecuación que relacione la masa con la velocidad. Utilizando la Ley de Gravitación:

$$F = GMm/r^2 \Leftrightarrow m a = GMm/r^2 \Leftrightarrow mv^2/r = GMm/r^2 \rightarrow v(r) = (GM(r)/r)^{1/2}$$

Luego, se grafica la velocidad de rotación para cada modelo de distribución de masa.



Se puede notar que el modelo que mejor se ajusta a la velocidad de rotación obtenida es el cuarto. Esto tiene mucho sentido considerando que la Vía Láctea es una Galaxia Espiral por lo cual una masa puntual en el centro (Bulbo) y un Disco Uniforme (Disco Galáctico) se asemeja mucho a la estructura física de este tipo de galaxias.

## ***4. Conclusiones***

Respecto a la curva de rotación se puede concluir que la velocidad de rotación de todos los cuerpos en el rango observado es aproximadamente constante. Estas velocidades se encuentran en el rango de los 200[km/s] y 250[km/s], y además se calculó el promedio de estas velocidades de rotación y se obtuvo que era de 222 [km/s]. Generalizando los resultados obtenidos, se puede concluir que la Galaxia posee una velocidad de rotación constante para todos los cuerpos celestes en esta.

Se pudo comprobar que el plano galáctico es corrugado y no tan plano como se pensaba anteriormente. Se obtuvo una diferencia de 0.2[kpc] entre la altura máxima y mínima de los cuerpos. Por lo tanto, el Disco de la Vía Láctea presenta corrugación y esto implica que la galaxia es más grande de lo que se creía antes.

Finalmente, se puede concluir que el modelo de distribución de masa que mejor se ajusta es el de una masa puntual rodeada por un disco de densidad uniforme. Este resultado es muy coherente con la forma de la Vía Láctea (galaxia espiral) ya que consta del Bulbo Galáctico, modelado como una masa puntual en el C.G., y el Disco Galáctico, modelado como un disco uniforme. Por otro lado, el modelo que mejor se ajustaría a una galaxia de tipo elíptica sería una masa puntual en el centro y una esfera de densidad uniforme.