

# Concentraciones en Halos de Materia Oscura con un enfoque Bayesiano

Christian Poveda  
Jaime E. Forero-Romero

Universidad de los Andes

3 de Diciembre, 2014





# Menú

Introducción

Ajustando con MCMC

Obteniendo concentraciones

Resultados

Test

MiniMDR1

Conclusiones

# Menú

Introducción

Ajustando con MCMC

Obteniendo concentraciones

Resultados

Test

MiniMDR1

Conclusiones

- ▶ El comportamiento a gran escala de universo esta dominado por la materia oscura.
- ▶ Esta última se comporta como un fluido no colisional que solo interactua de forma gravitacional.
- ▶ Se han realizado varios experimentos numéricos para simular el comportamiento del universo en grandes volúmenes.
- ▶ De estas simulaciones se ha obtenido que la materia oscura se agrupa siguiendo un perfil de densidad independiente de los parámetros cosmológicos.
- ▶ una de las parametrizaciones mas usuales de la distribución de densidad es el perfil de Navarro-Frenk-White.

- ▶ Propuesto por Julio Navarro, Carlos Frenk y Simon White en 1997.
- ▶ Es una doble ley de potencias dependiente de la distancia radial.
- ▶ La transición entre esta ley de potencias está dada por un parámetro  $r_s$ .

$$\rho(r; \rho_0, r_s) = \frac{\rho_0}{r/r_s (1 + r/r_s)^2}$$

$$M(r; \rho_0, r_s) = 4\pi\rho_0 r_s^3 \left[ \ln\left(\frac{r + r_s}{r}\right) - \frac{r}{r + r_s} \right]$$

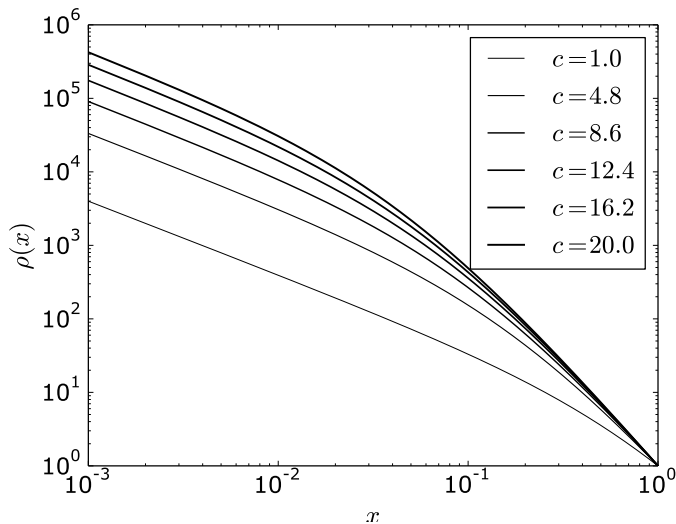
$$V(r; \rho_0, r_s) = \sqrt{\frac{GM(r; \rho_0, r_s)}{r}}$$

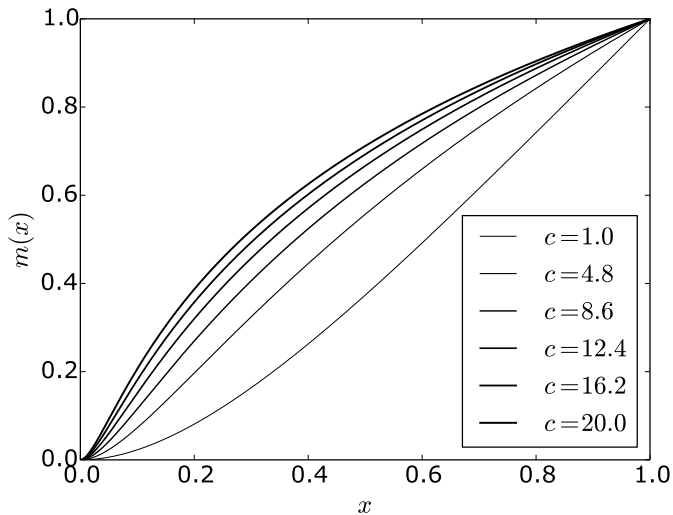
- ▶ Usando el radio virial  $r_{vir}$  podemos normalizar  $\rho(r)$ ,  $M(r)$  y  $V(r)$ , utilizando la concentración  $c = r_{vir}/r_s$  como parámetro y usando la distancia radial normalizada  $x = r/r_{vir}$

$$\rho(x; c) = \frac{(1 + c)^2}{x(1 + xc)^2}$$

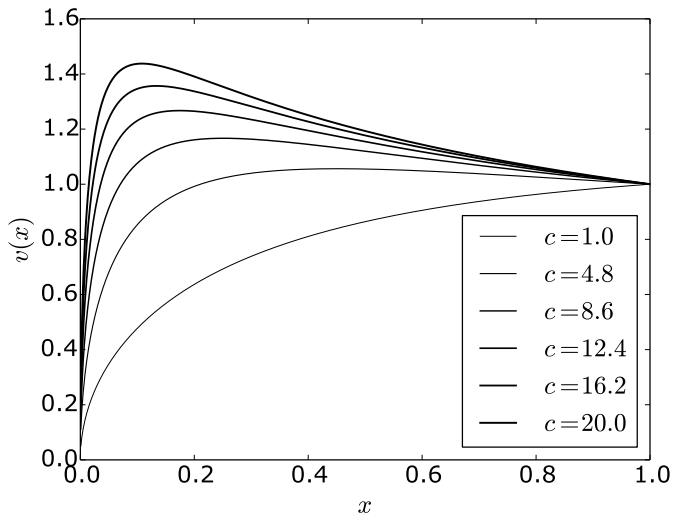
$$m(x; c) = \frac{\ln(1 + xc) - \frac{xc}{1+xc}}{\ln(1 + c) - \frac{c}{1+c}}$$

$$v(x; c) = \sqrt{\frac{\ln(1 + xc) - \frac{xc}{1+xc}}{x \ln(1 + c) - \frac{xc}{1+c}}}$$











# Menú

Introducción

Ajustando con MCMC

Obteniendo concentraciones

Resultados

Test

MiniMDR1

Conclusiones



- ▶ MCMC = Markov Chain Monte Carlo.
- ▶ Con MCMC podemos muestrear una distribución de probabilidad... Cual?
- ▶ Un estimador de que tan bien ajusta un modelo  $f$  dependiente de algunos parámetros  $s_1, \dots, s_n$  a unos datos  $x_i, y_i$ .

$$\mathcal{L}(s_1, \dots, s_n) \propto \exp\left(-\frac{1}{2}\chi^2(s_1, \dots, s_n)\right)$$

$$\chi^2(s_1, \dots, s_n) = \sum_i \frac{(f(x_i; s_1, \dots, s_n) - y_i)^2}{\sigma_i^2}$$

- ▶  $\mathcal{L}$  grande corresponde a  $\chi^2$  pequeño.
- ▶ Nos da incertidumbres  $\sigma_{s_1}, \dots, \sigma_{s_n}$  sobre los parámetros.

Como ejemplo tomaremos el siguiente modelo

$$f(x; a, b) = ax^2 + bx$$

Y lo ajustaremos a una serie de datos





# Menú

Introducción

Ajustando con MCMC

Obteniendo concentraciones

Resultados

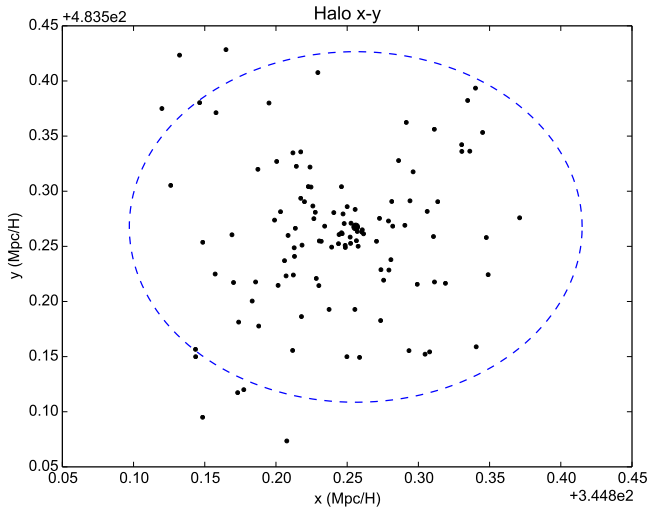
Test

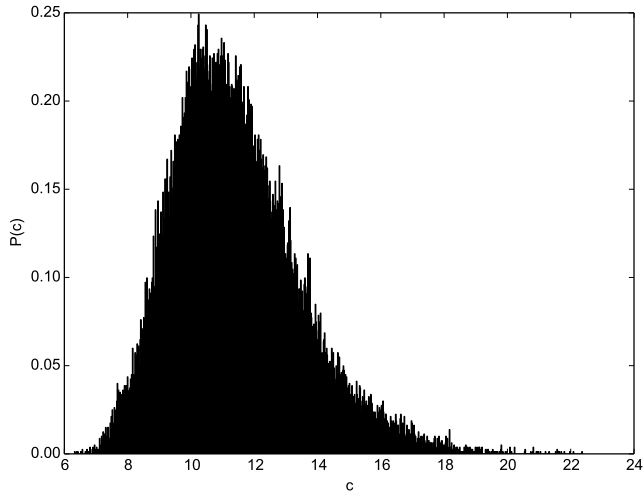
MiniMDR1

Conclusiones

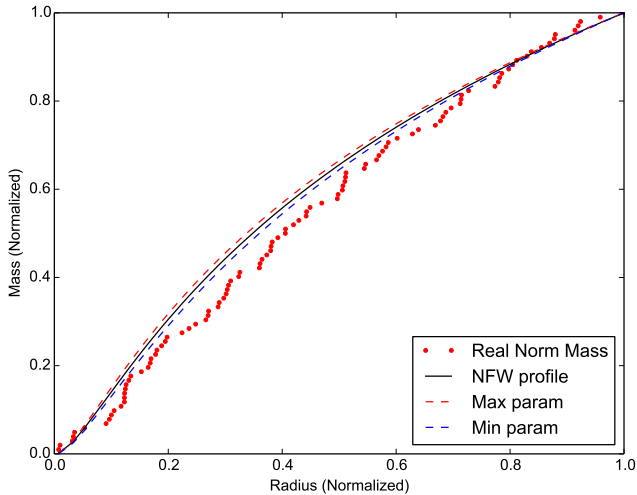
Queremos obtener la concentración para los halos de una simulación.

- ▶ Obtenemos el centro de cada halo minimizando el potencial gravitacional.
- ▶ Calculamos su  $r_{vir}$  y descartamos los puntos a una distancia mayor.
- ▶ Obtenemos su perfil de masa organizando las distancias radiales.
- ▶ Normalizamos y ajustamos utilizando MCMC.











# Menú

Introducción

Ajustando con MCMC

Obteniendo concentraciones

Resultados

Test

MiniMDR1

Conclusiones



Comparar contra otros métodos:

- ▶ Ajustar el perfil de densidad.

$$\rho(x; c) = \frac{(1 + c)^2}{x(1 + xc)^2}$$

- ▶ Ajustar el máximo de velocidad radial.

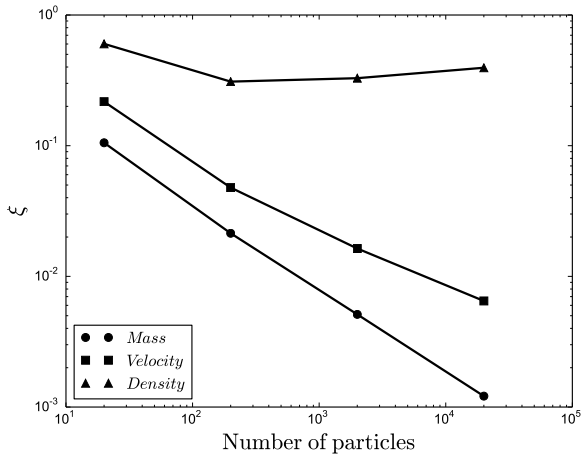
$$v_{max} = \sqrt{\frac{0.216c}{\ln(1 + c) - \frac{c}{1+c}}}$$



- ▶ Poner a prueba estos tres métodos con halos generados cuya concentración es conocida.
- ▶ Cuantificaremos el error con

$$\xi(n) = \frac{1}{|\mathcal{H}_n|} \sum_{\mathcal{H}_n} |1 - c_{obtenido}/c_{original}|$$

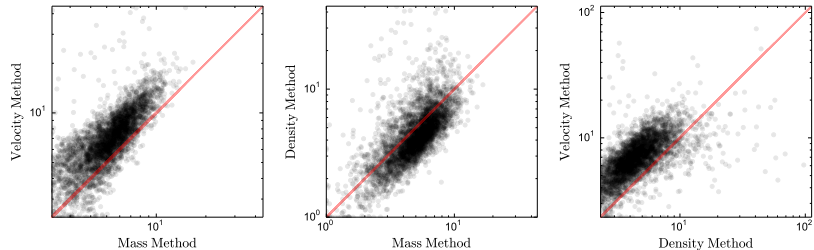
- ▶  $\mathcal{H}_n$  es el conjunto de halos con  $n$  partículas.
- ▶  $\xi(n)$  es independiente de la magnitud de las concentraciones y de el tamaño de  $\mathcal{H}_n$ .





## MiniMDR1

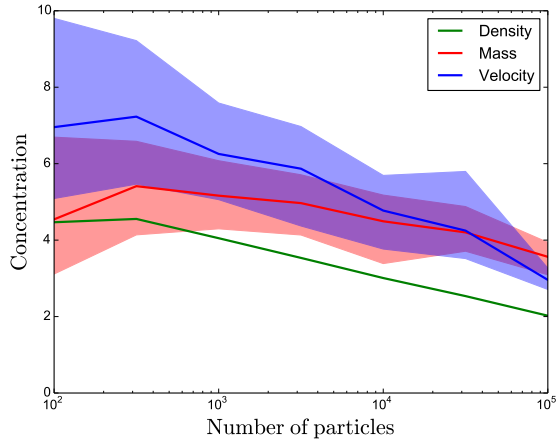
Tomar datos del catálogo MiniMDR1 y analizar la consistencia de los resultados.



$$c_v > c_m > c_\rho$$



## Observar la relación masa-concentración





# Menú

Introducción

Ajustando con MCMC

Obteniendo concentraciones

Resultados

Test

MiniMDR1

Conclusiones



- ▶ Este nuevo método nos permite no solo obtener valores para la concentración sino incertidumbres sobre ellas, obteniendo resultados con un error menor al de los métodos mas utilizados.
- ▶ Este método provee una nueva perspectiva respecto a la relación masa-concentración al proveer un valor intermedio obtenido con datos puros, sin necesidad de binning u otros procesos.



J. F. Navarro, C. S. Frenk, and S. D. M. White.  
A Universal Density Profile from Hierarchical Clustering.  
*The Astrophysical Journal*, 490:493–508, December 1997.



K. Riebe, A. M. Partl, H. Enke, J. Forero-Romero,  
S. Gottlöber, A. Klypin, G. Lemson, F. Prada, J. R. Primack,  
M. Steinmetz, and V. Turchaninov.  
The MultiDark Database: Release of the Bolshoi and  
MultiDark cosmological simulations.  
*Astronomische Nachrichten*, 334:691–708, August 2013.