

# Navarro-Frenk-White en Simulaciones Cosmologicas Usando MCMC

Christian Poveda

Universidad de los Andes

## 1 Introducción

### 1.1 Perfil de Navarro-Frenk-White

El perfil de Navarro-Frenk-White permite obtener la densidad de materia oscura de un halo en función del radio y está dado por

$$\rho(R; \rho_0, R_s) = \frac{\rho_0}{\frac{R}{R_s} \left(1 + \frac{R}{R_s}\right)^2}$$

Integrando es posible obtener la masa contenida en función del radio

$$M(R; \rho_0, R_s) = 4\pi\rho_0 R_s^3 \left[ \log\left(1 + \frac{R}{R_s}\right) - \frac{R}{R_s + R} \right]$$

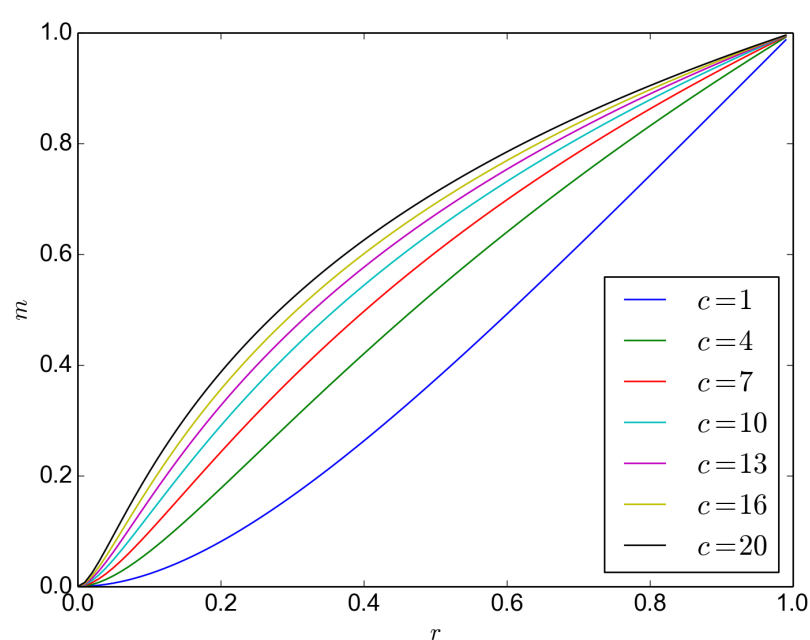
Adicionalmente se suele definir el radio virial de un halo  $R_{vir}$  como el valor de  $r$  tal que  $\langle \rho \rangle(R_{vir}) = n\rho_{back}$  donde  $n$  es el factor de sobredensidad y la concentración de cada halo como  $c := R_{vir}/R_s$  [1]. Así se puede normalizar el perfil de masa

$$m(r; c) = A \left[ \log(1 + rc) - \frac{rc}{1 + rc} \right]$$

Donde  $r = R/R_{vir}$  y

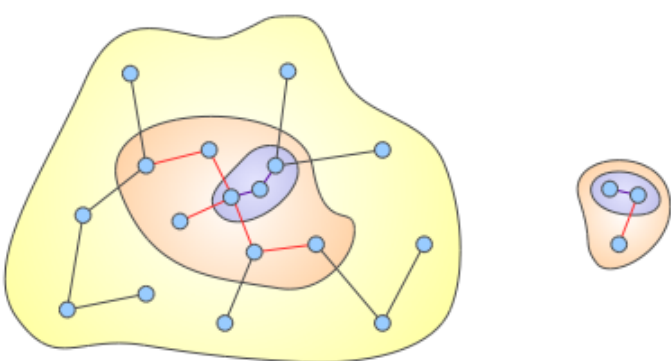
$$A = \left[ \log(1 + c) - \frac{c}{1 + c} \right]^{-1}$$

A continuación se muestra la masa normalizada con distintos valores de la concentración



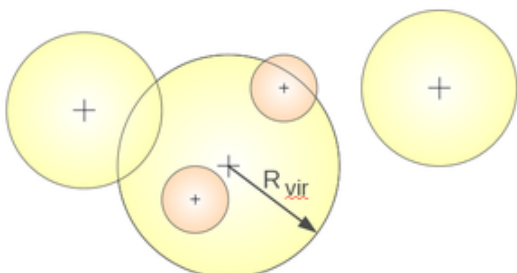
### 1.2 Friend-Of-Friend

Fue inventado en 1985 por Davis et al.[4]. Este algoritmo buscador de halos consiste en definir una longitud de enlace a partir de un umbral de densidad. Si dos partículas están separadas por una distancia menor a su longitud de enlace, pertenecen al mismo halo.



### 1.3 Bound Density Maximum

Fue inventado en 1997 por Klypin y Holtzman [3]. Consiste en buscar máximos locales de densidad, luego se recorta el halo donde sea lo suficientemente denso ( $r_{vir}$ ) y se remueven las partículas que no estén ligadas. En MultiDark hay dos catálogos: BDMV ( $\eta = 360$ ) y BDMW ( $\eta = 740$ ).



## 2 Muestreando con MCMC

### 2.1 Definiendo un Centro

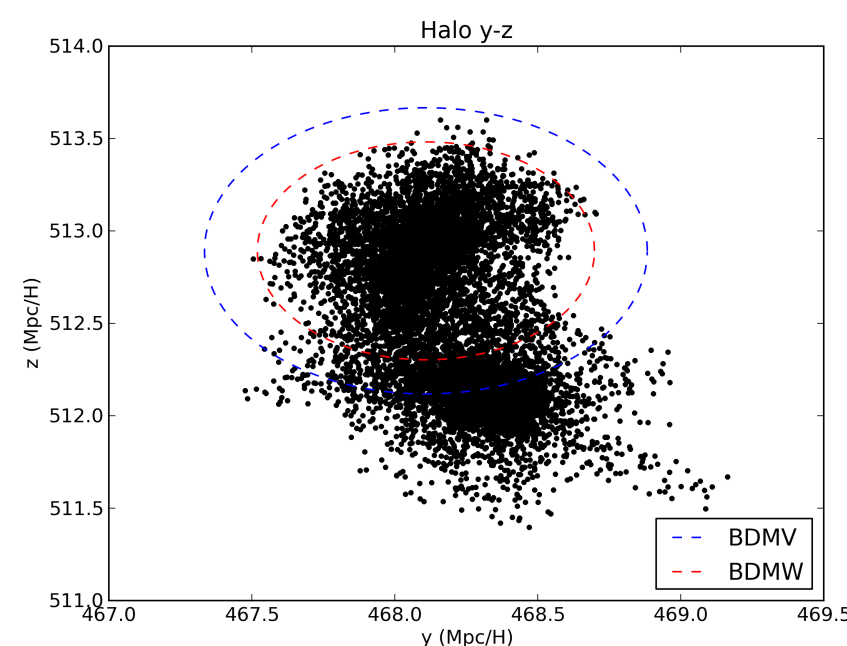
Se toma el centro de cada halo como su mínimo de potencial

$$\phi(\vec{R}_i) = - \sum_{j \neq i} \frac{Gm^2}{\|\vec{R}_i - \vec{R}_j\|}$$

Luego se redefinen las coordenadas de cada partícula respecto a este nuevo centro

$$\vec{R}'_i = \vec{R}_i - \vec{R}_c$$

Se cuenta el número de partículas dentro de cada radio. Después de esto se calcula el radio virial, se eliminan las partículas con un radio mayor a este y se normalizan las distancias. En la siguiente gráfica se muestra la proyección de un halo de Ñ catálogo FOF-MDR1 sobre el plano y-z con sus respectivos radios viriales



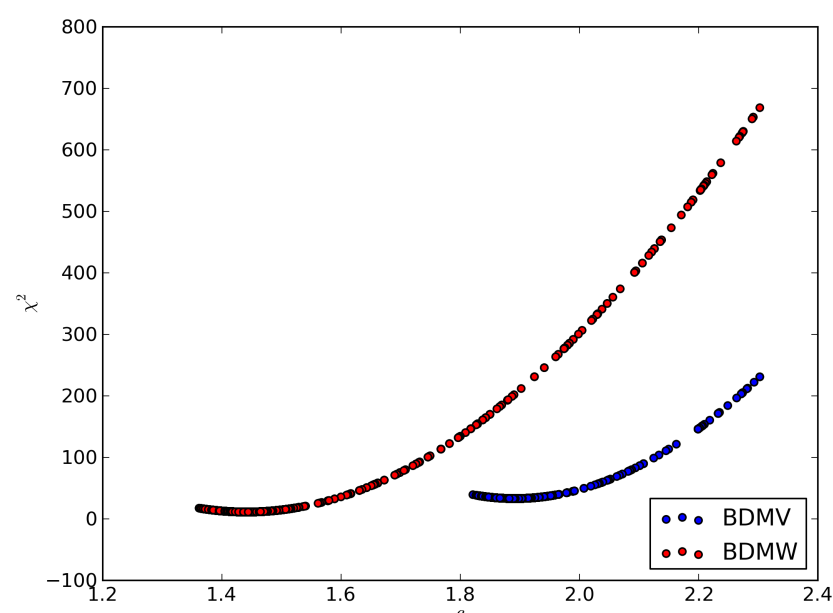
### 2.2 Algoritmo de Metropolis-Hastings

Se utiliza el algoritmo de Metropolis-Hastings para muestrear la verosimilitud

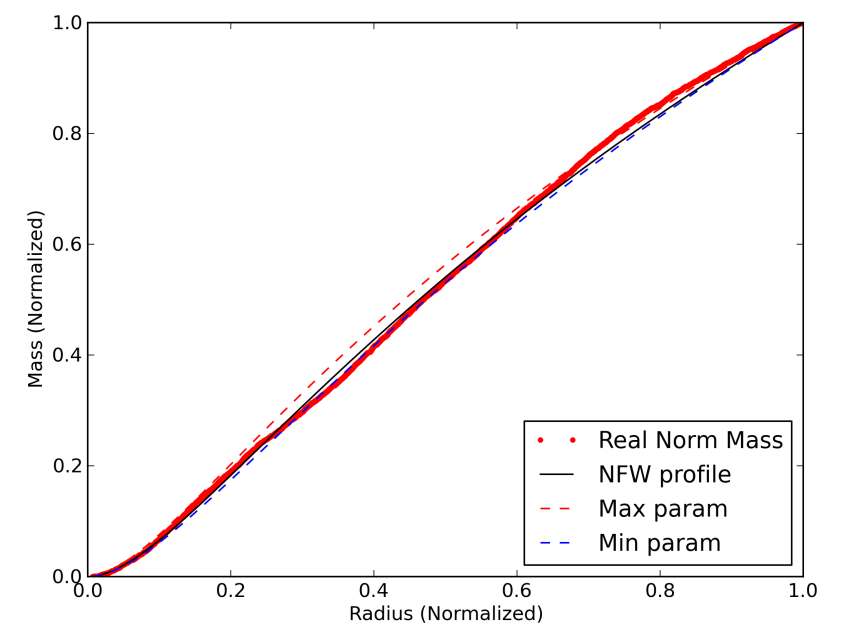
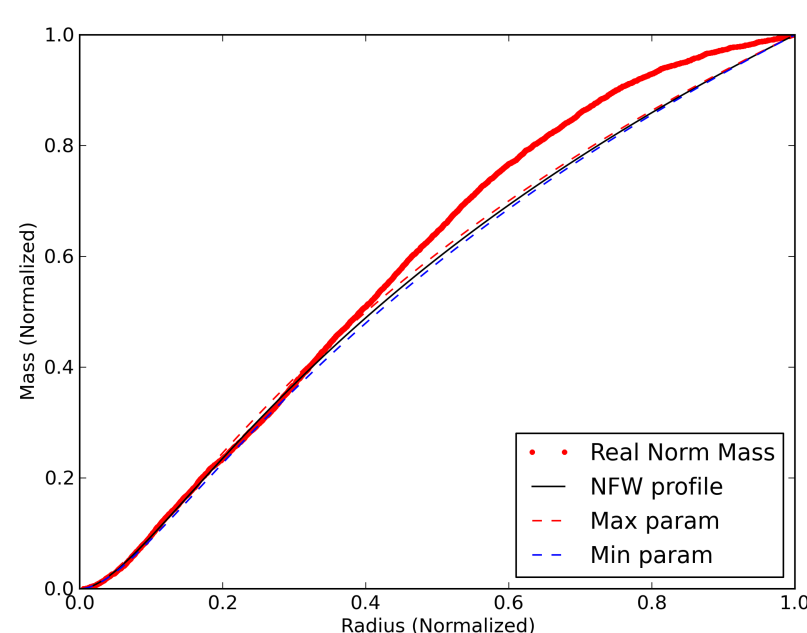
$$\mathcal{L}(c) = \exp(-\chi^2(c))$$

$$\chi^2(c) = \sum_i (m_i - m_{NFW}(r_i; c))^2$$

Luego se toma el valor de donde  $\mathcal{L}(c)$  es máxima, sin embargo se toma la restricción  $c \geq 1$ . Para el halo mostrado anteriormente vemos que

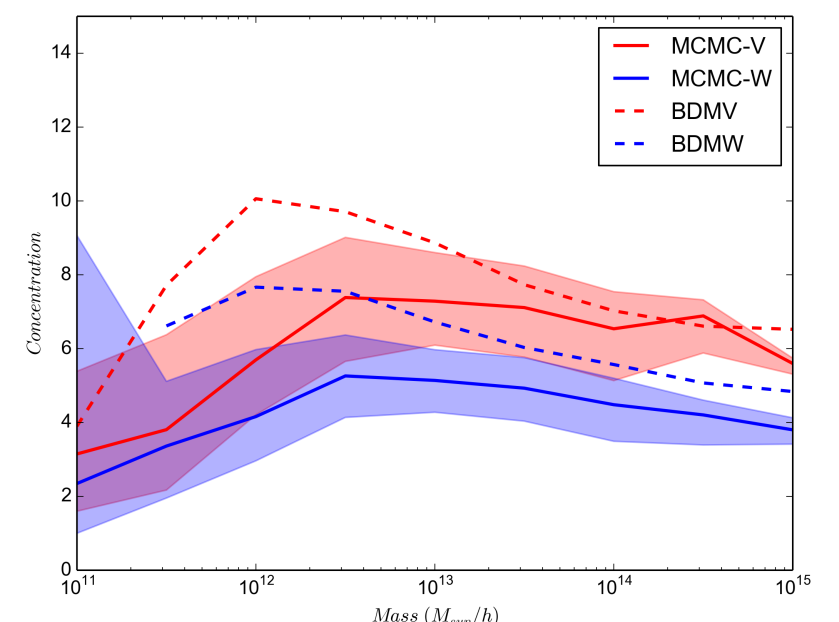


Tomando el valor de  $c$  que corresponde al mínimo valor de  $\chi^2$  para ambos casos, se obtienen las siguientes curvas



## 3 Resultados

Usando los datos de la simulación MDR1[2] se compararon los valores de la concentración obtenidos por BDM con los obtenidos por este método usando el catálogo FOF como base. Sin embargo no existe una correspondencia uno a uno entre estos dos catálogos, así que se le asigna a cada halo de BDM un compañero en FOF como los halos con centros más cercanos, al tomar la mediana de la concentración contra la masa de cada halo tenemos que



## 4 Discusión

A diferencia del estimado de la concentración dada por BDM este método permite obtener un estimado más directo. Sin embargo no se sabe a que se deben las discrepancias entre los resultados obtenidos, aun es necesario determinar si estas diferencias se deben al algoritmo utilizado en si o a la población de datos que se tomó.

## Referencias

- [1] The Structure of cold dark matter halos - Navarro, Julio F. et al. Astrophys.J. 462 (1996) 563-575 astro-ph/9508025
- [2] MDR1 Database. En Multidark Database (sf). Recuperado el 6 de mayo de 2014, de <http://www.multidark.org/MultiDark/Help?page=databases/mdr1/database>
- [3] Particle mesh code for cosmological simulations - Klypin, Anatoly et al. astro-ph/9712217.
- [4] The Evolution of Large Scale Structure in a Universe Dominated by Cold Dark Matter - Davis, Marc et al. Astrophys.J. 292 (1985) 371-394 NSF-ITP-84-129.