

Astrofísica del Sistema Solar

Efectos de la Evolución Colisional:
Familias de asteroides

Introducción

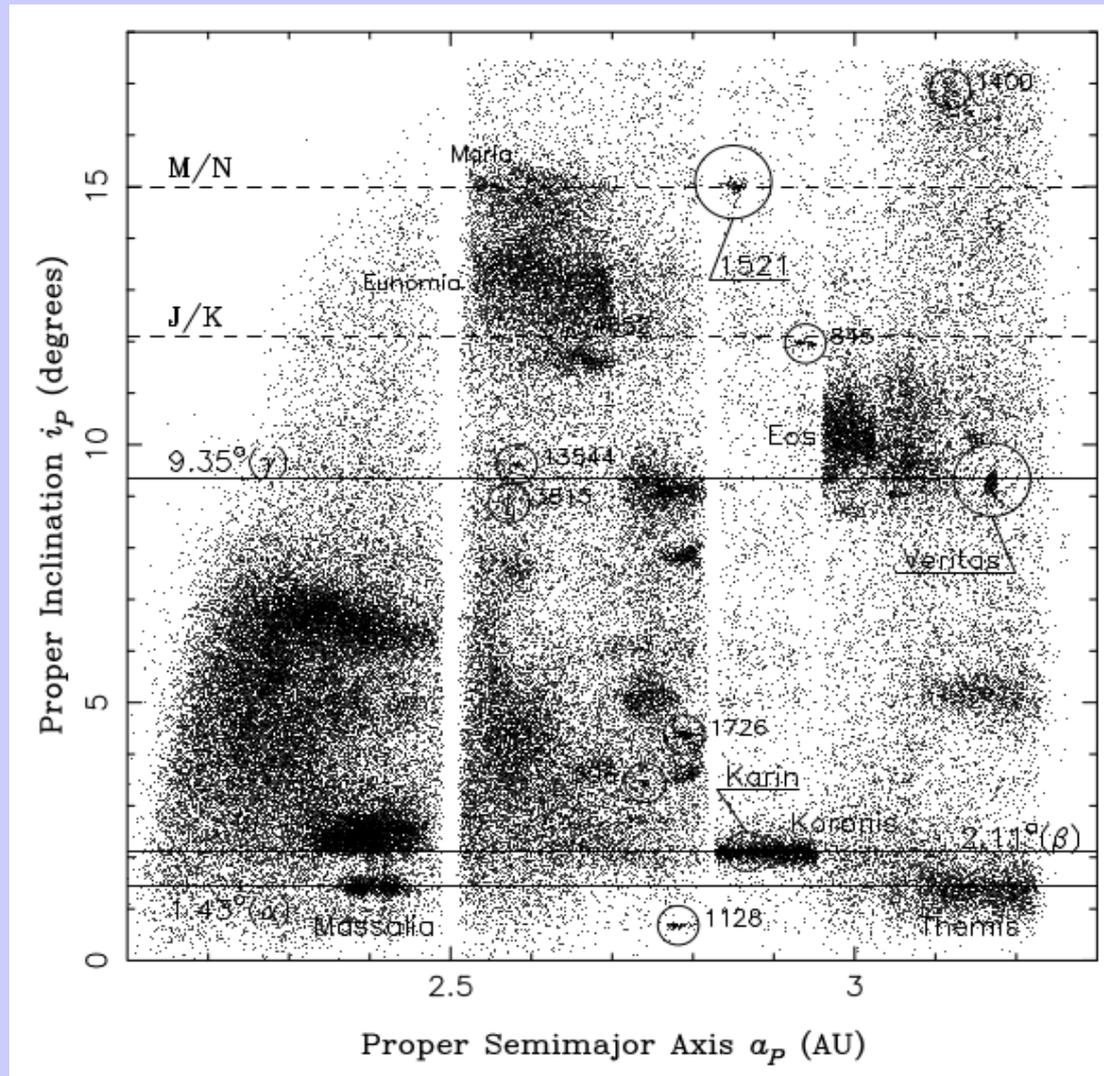
El proceso colisional en un sistema planetario produce diferentes efectos sobre los objetos que forman las diferentes poblaciones:

- Familias de asteroides.
- Rubble-piles.
- Craterización.
- Formación de regolitos.
- Tasas de rotación.

Familias de asteroides

- son agrupaciones en el espacio de elementos propios.
- dependiendo de su densidad se pueden separar en familias, cúmulos o agrupaciones.
- su origen se explica generalmente por una colisión disruptiva, pero pueden tener un origen en la formación de cráteres.
- por perturbaciones gravitatorias se dispersan en un cierto tiempo.
- se requieren otros estudios para confirmar su origen colisional.
- hay 20-30 familias reconocidas y algunas decenas de cúmulos y agrupaciones.
- se designan por el miembro de menor número.

Familias de asteroides



Nesvorný et al.
(2003)

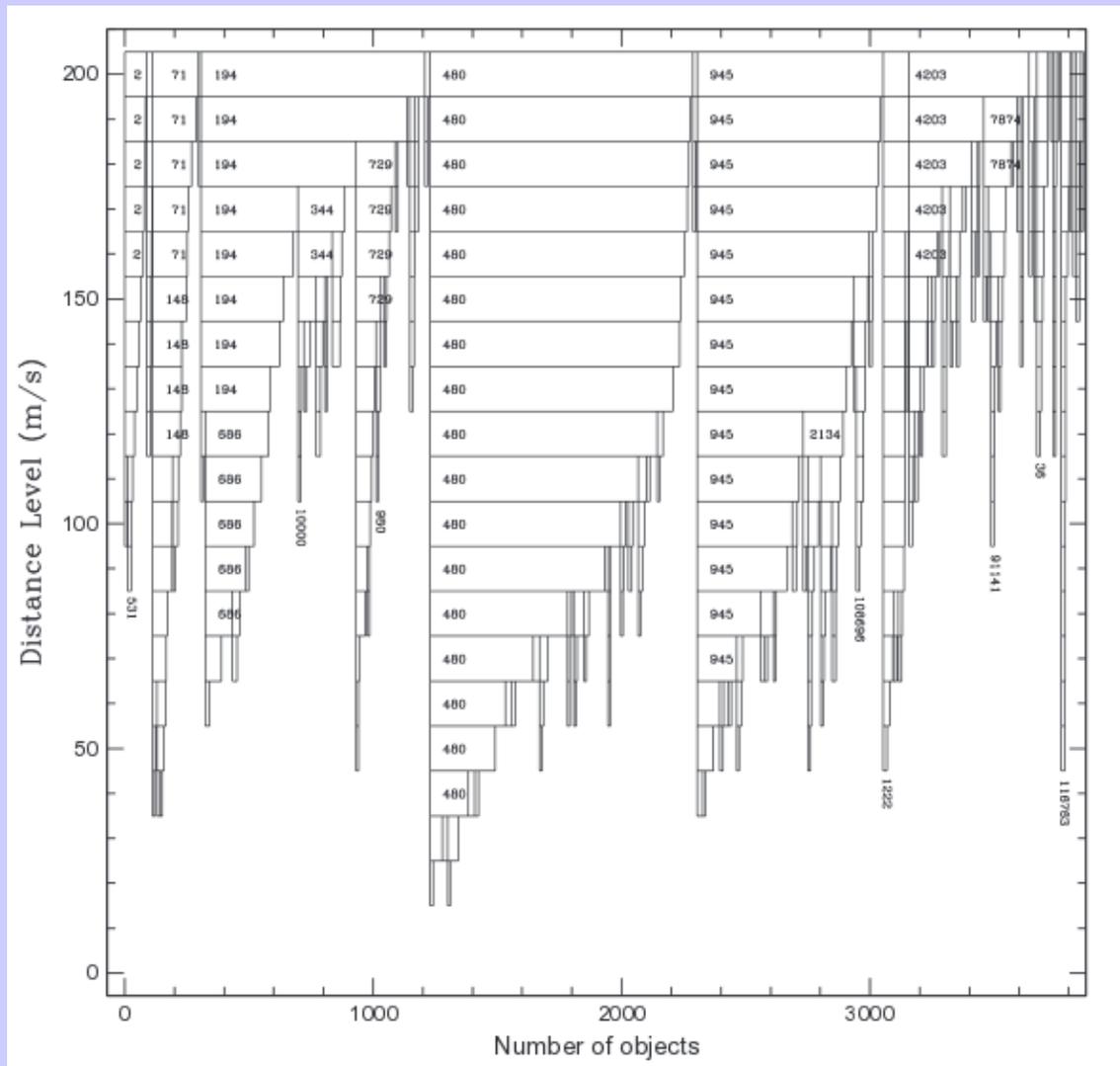
Familias de asteroides

- El método utilizado más frecuentemente es el de Agrupamiento Jerárquico (HCM) (Zappalà et al. 1990).
- Se define una distancia en el espacio de elementos propios:

$$d = na_p \sqrt{\frac{5}{4} \left(\frac{\delta a_p}{a_p} \right)^2 + 2(\delta e_p)^2 + 2(\delta \sin(I_p))^2},$$

- Se agrupa hasta una velocidad límite de corte definida por el background.

Familias de asteroides

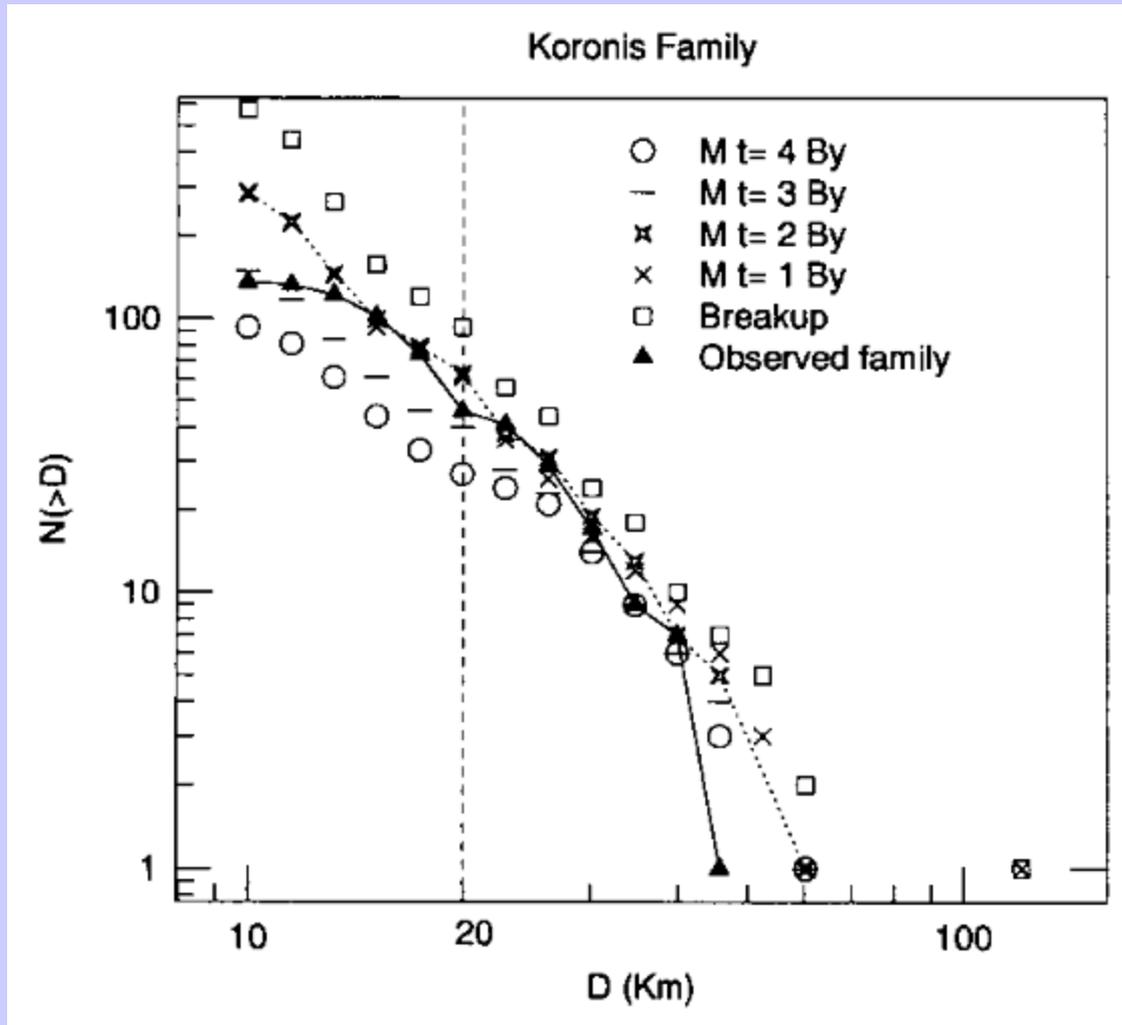


Novakovic et al.
(2011)

Familias de asteroides

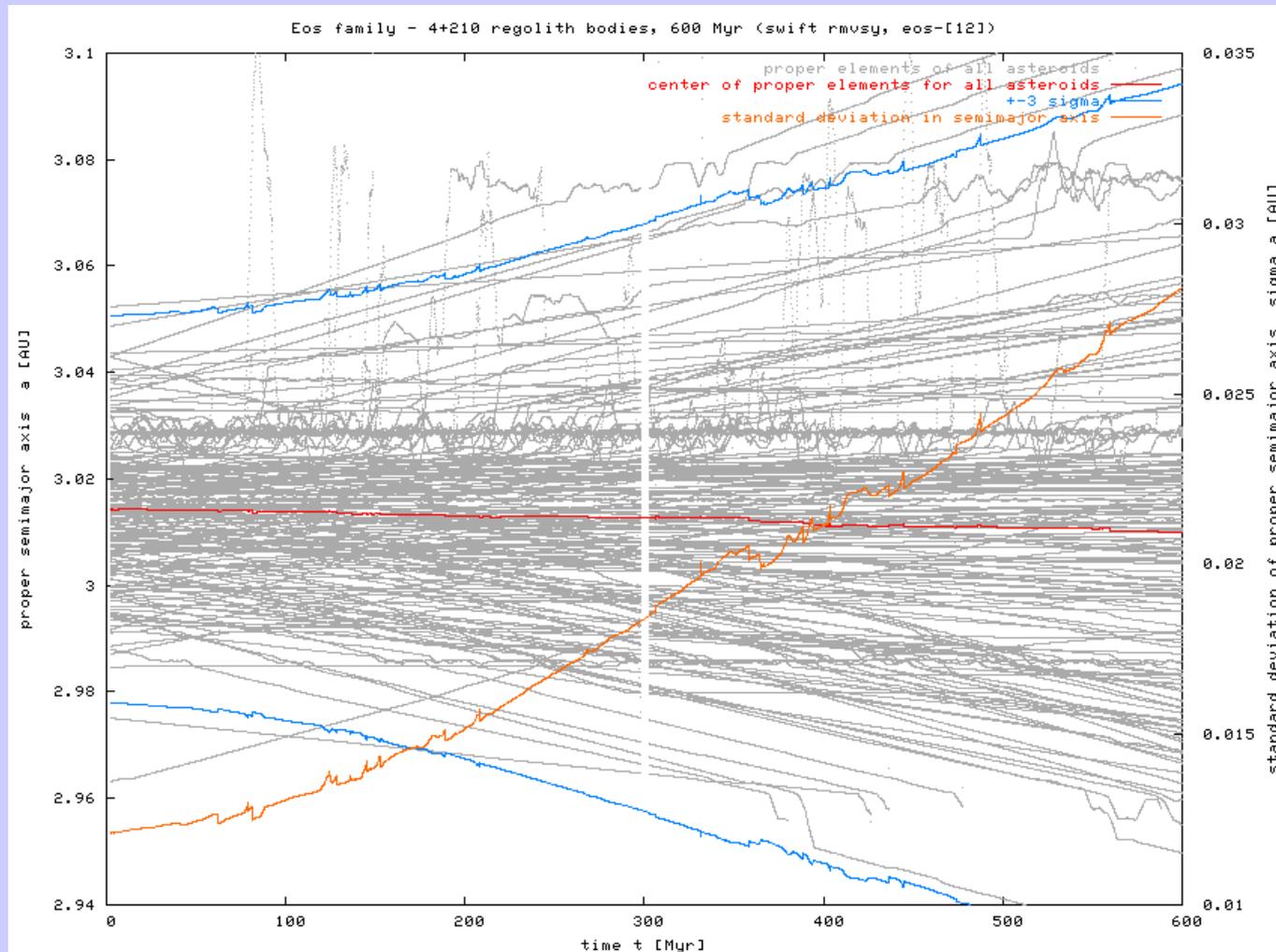
- ¿Se puede determinar su edad?.
- ¿Es posible simular las colisiones que las formaron?.
- ¿Respetan la relación entre velocidad y tamaño?

Familias de asteroides



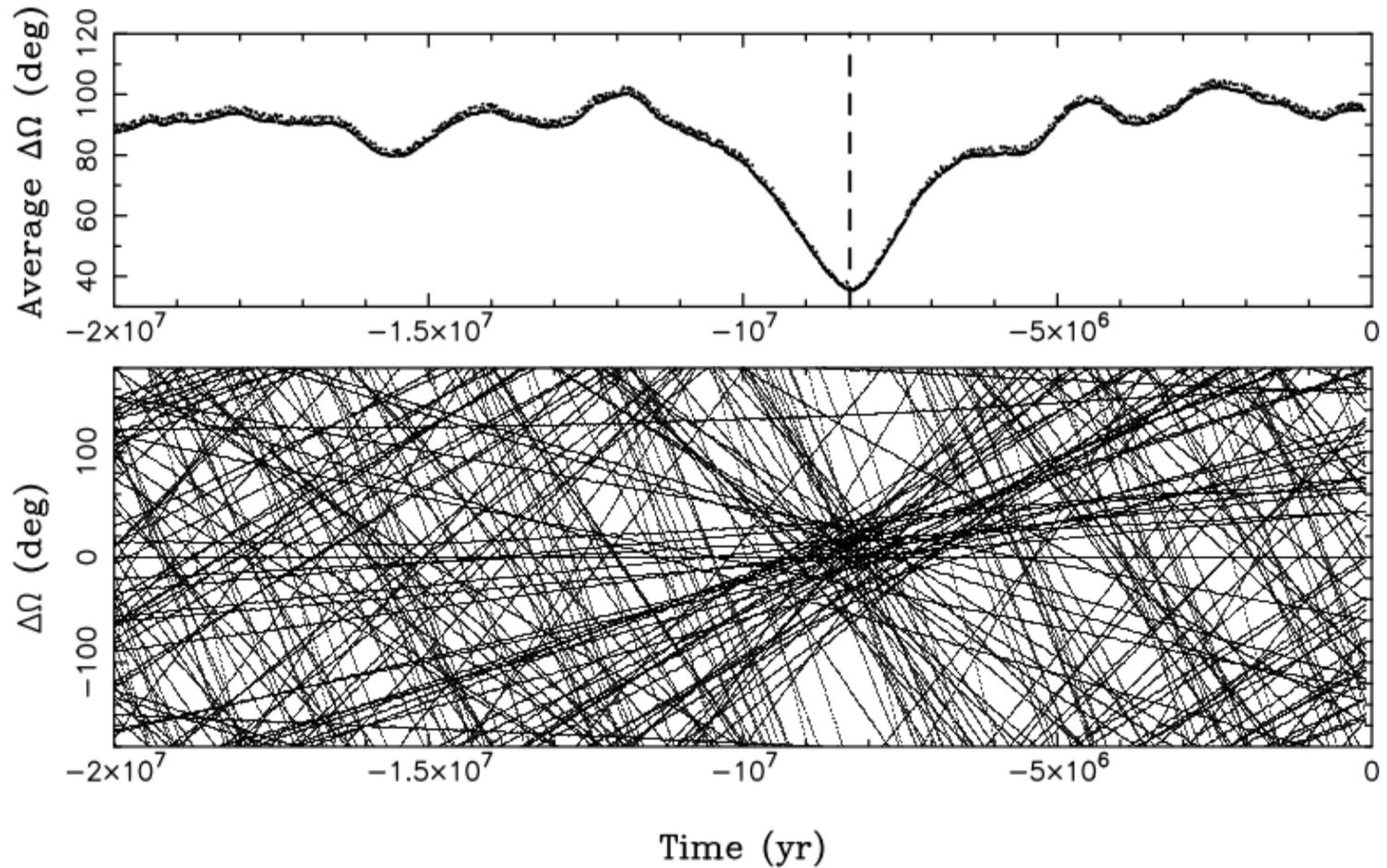
Marzari et al. (1995)

Familias de asteroides



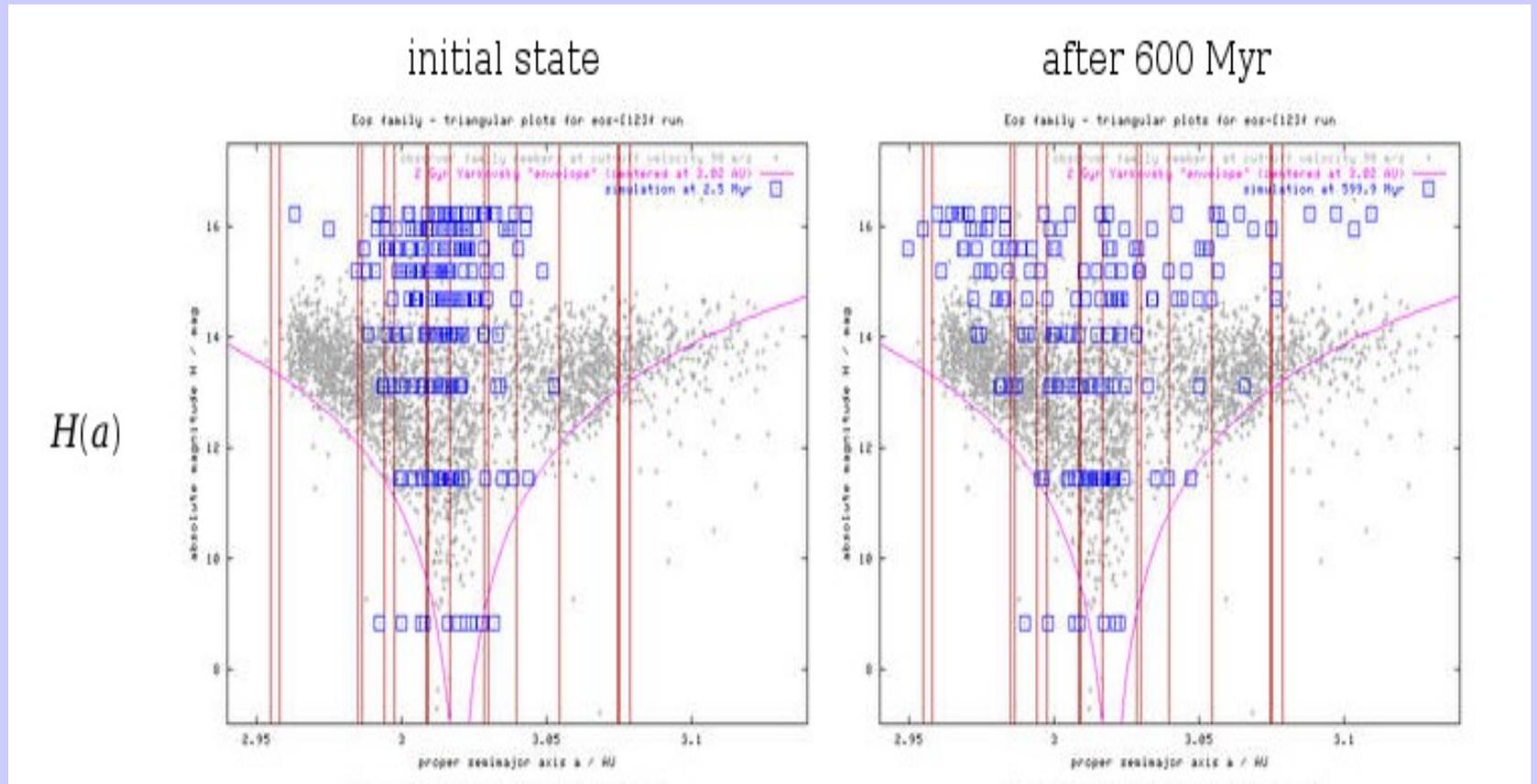
Broz et al.
(2002)

Familias de asteroides



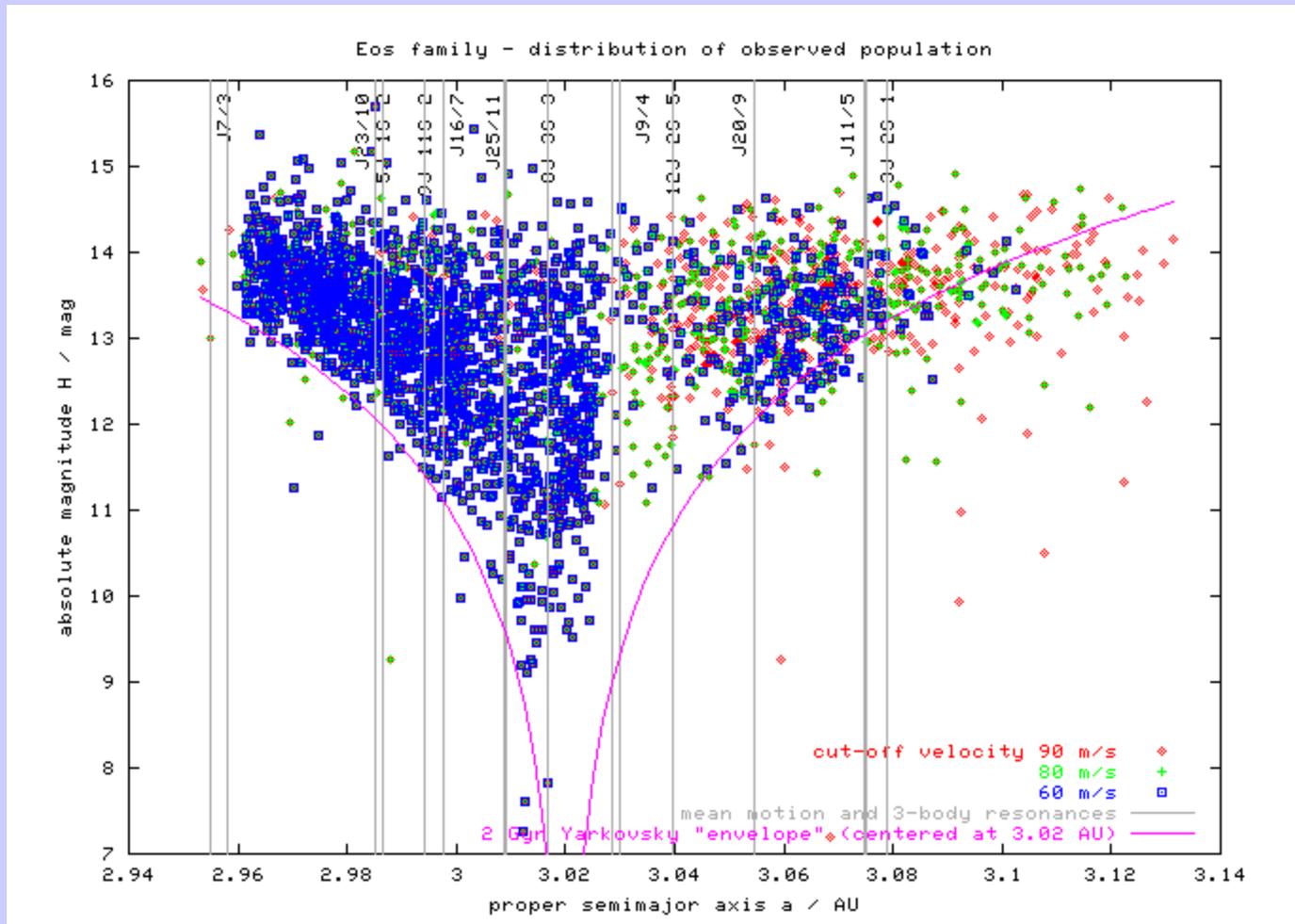
Nesvorný et al. (2003)

Familias de asteroides



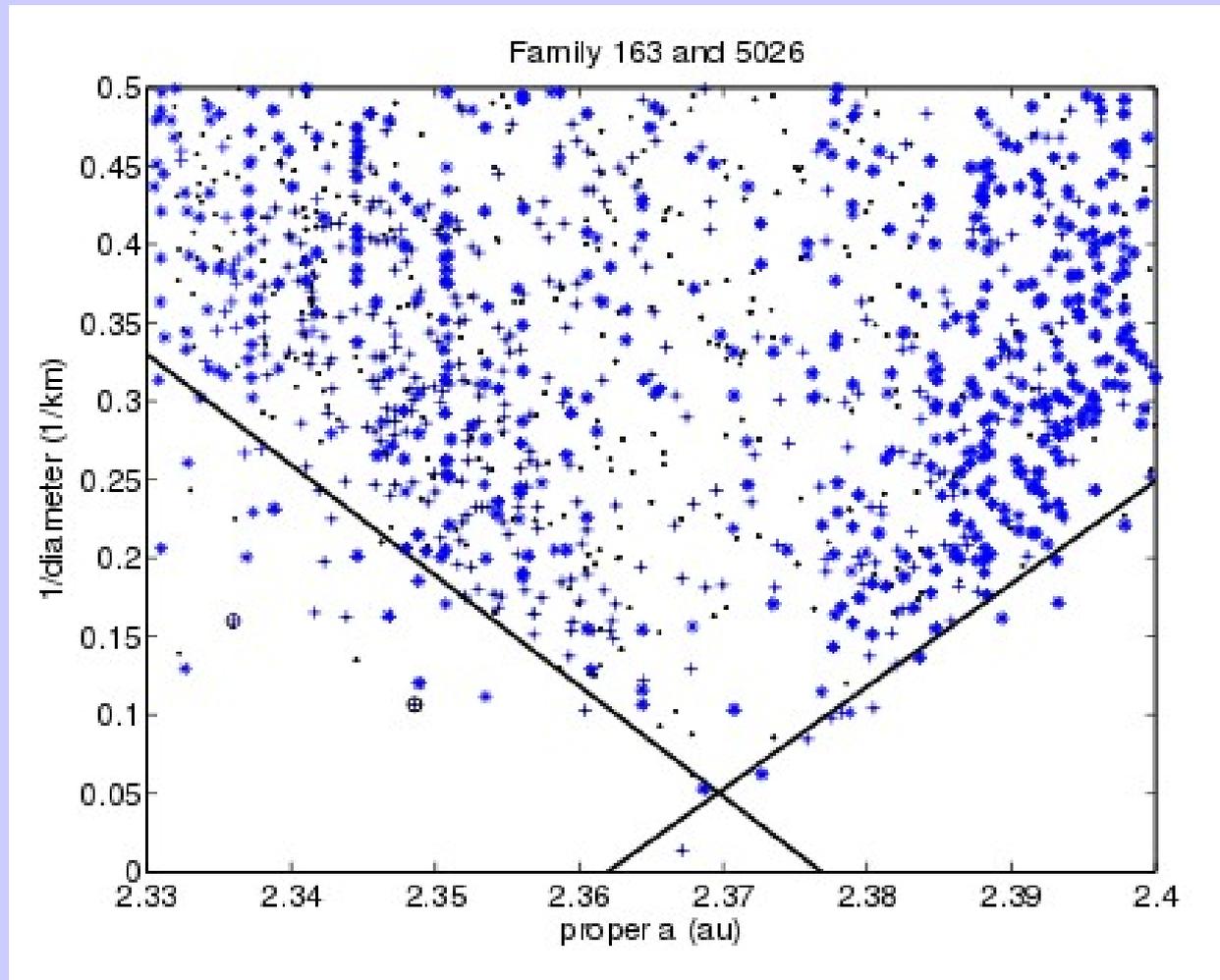
Broz et al.(2002)

Familias de asteroides



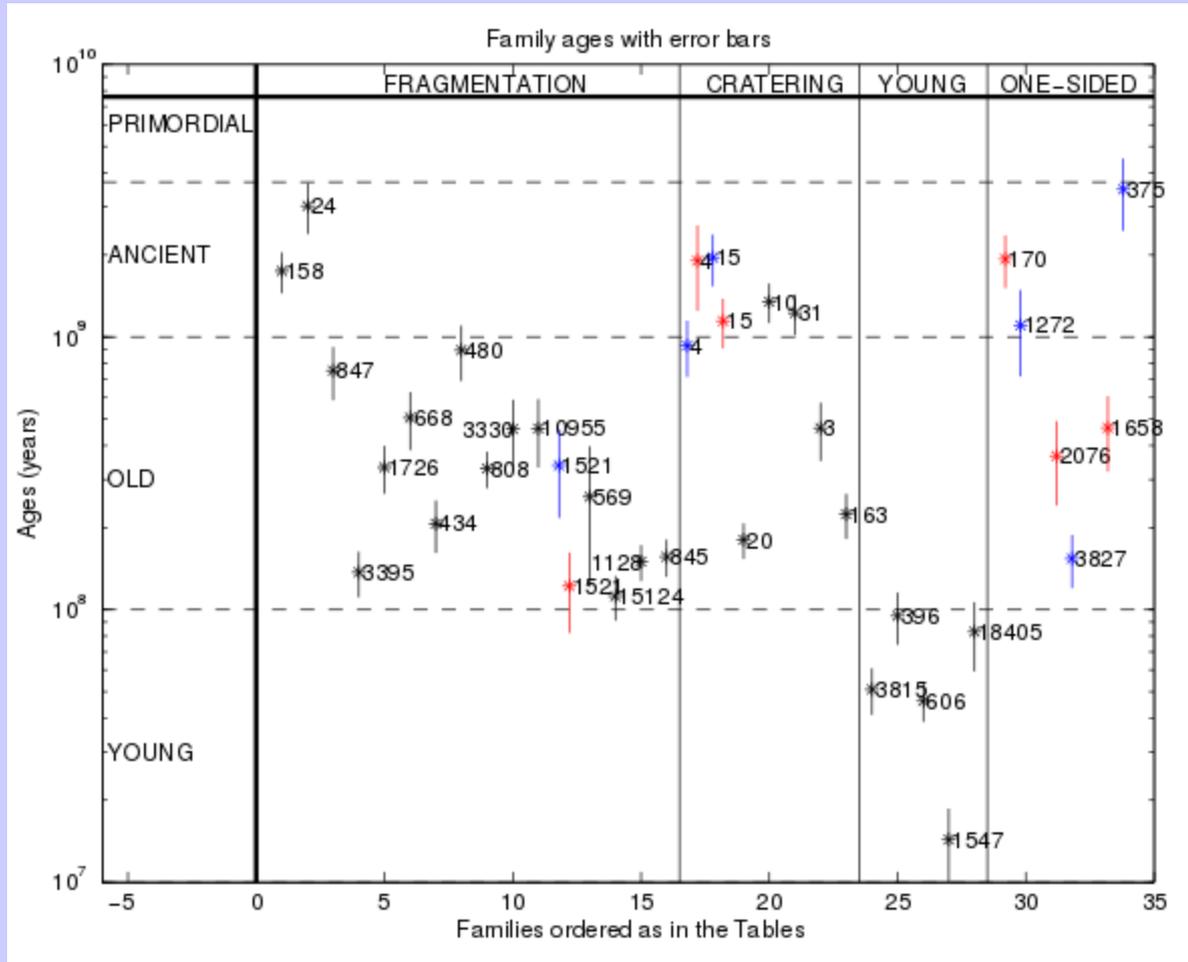
Broz et al.
(2002)

Familias de asteroides



Spotto et al. (2015)

Familias de asteroides



Spotto et al. (2015)

Familias de asteroides

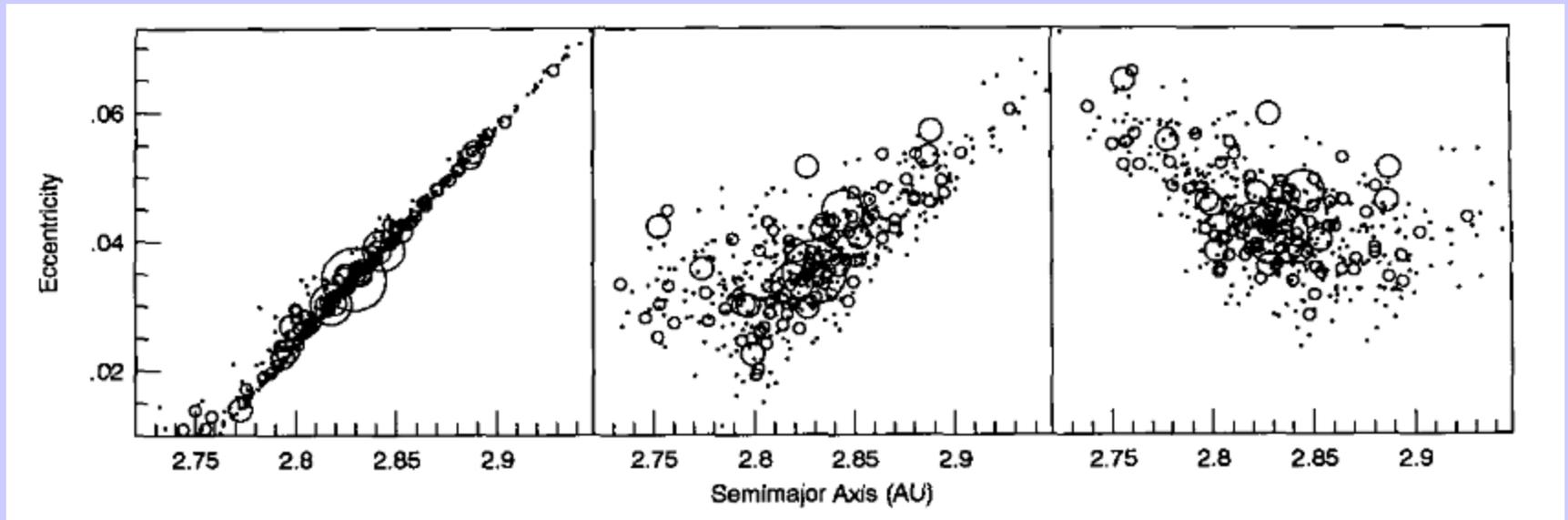
- Campo de velocidades de los miembros

Ecuaciones de Gauss

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta a/a = \frac{2}{na(1-e^2)^{1/2}} [(1+e \cos f)V_T + (e \sin f)V_R] \\ \delta e = \frac{(1-e^2)^{1/2}}{na} \\ \quad \times \left[\frac{e + 2 \cos f + e \cos^2 f}{1 + e \cos f} V_T + (\sin f)V_R \right] \\ \delta I = \frac{(1-e^2)^{1/2}}{na} \frac{\cos(\omega + f)}{1 + e \cos f} V_W, \end{array} \right.$$

Familias de asteroides

Resultado de una colisión para diferentes anomalías medias. Las figuras corresponden a $M = 0, 45$ y 90 grados.



Marzari et al. (1995)

Familias de asteroides

- Ecuaciones de Gauss truncadas a primer grado en e

$$\begin{cases} \delta a/a = \frac{2}{na} V_T \\ \delta e = \frac{1}{na} [2(\cos f)V_T + (\sin f)V_R] \\ \delta I = \frac{1}{na} \cos(\omega + f)V_W. \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_T = \frac{na}{2} \frac{\delta a}{a} \\ V_R = -na \frac{\cos f}{\sin f} \frac{\delta a}{a} + \frac{na}{\sin f} \delta e. \end{cases}$$

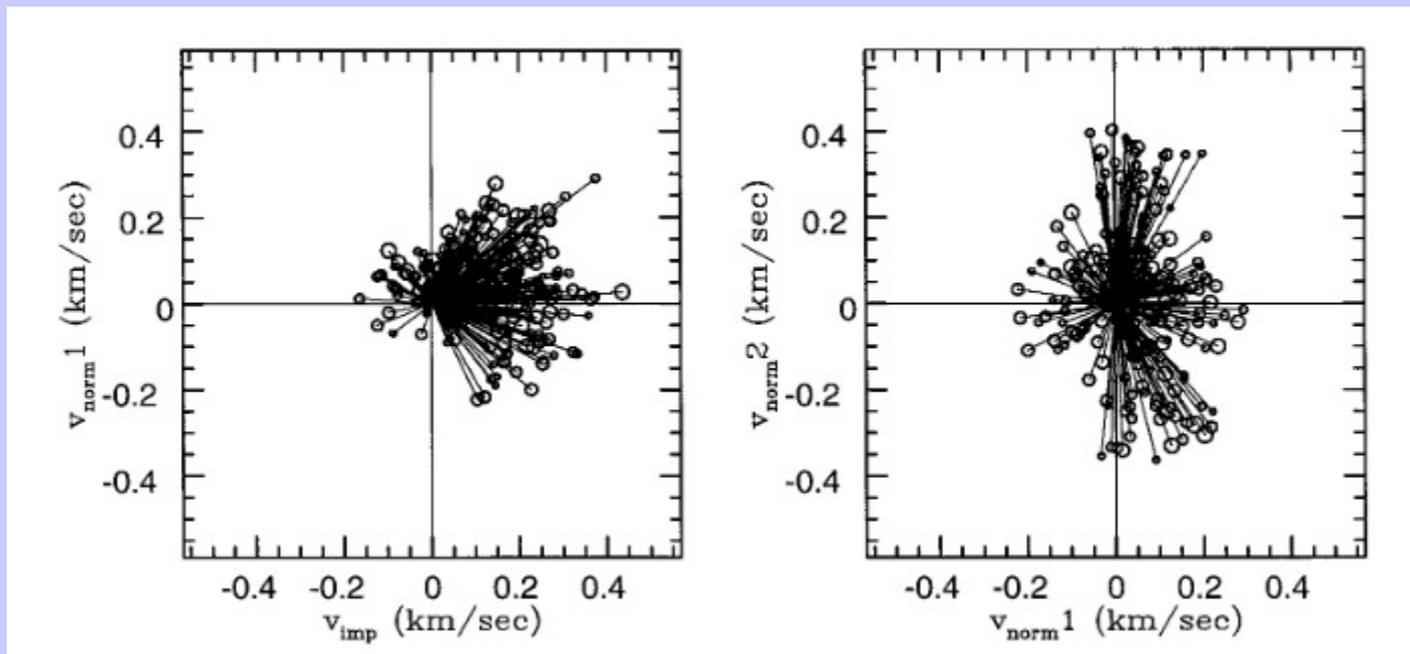
$$\langle V_T^2 \rangle = \langle V_R^2 \rangle = \langle V_W^2 \rangle = \frac{\langle V^2 \rangle}{3}$$

$$V_{ej} = \sqrt{V_\infty^2 - V_{esc}^2}$$

$$V_\infty^2 = \sqrt{3}V_T$$

Familias de asteroides

Campo de velocidad para la familia de (4) Vesta
 $f = 90^\circ$ y $(f + \omega) = 30^\circ$



Zappalà et al. (1996)

Familias de asteroides

- Relación entre velocidad y masa de los fragmentos

$$\frac{1}{2}m_i V_i^2 = f_{ke} E_k$$

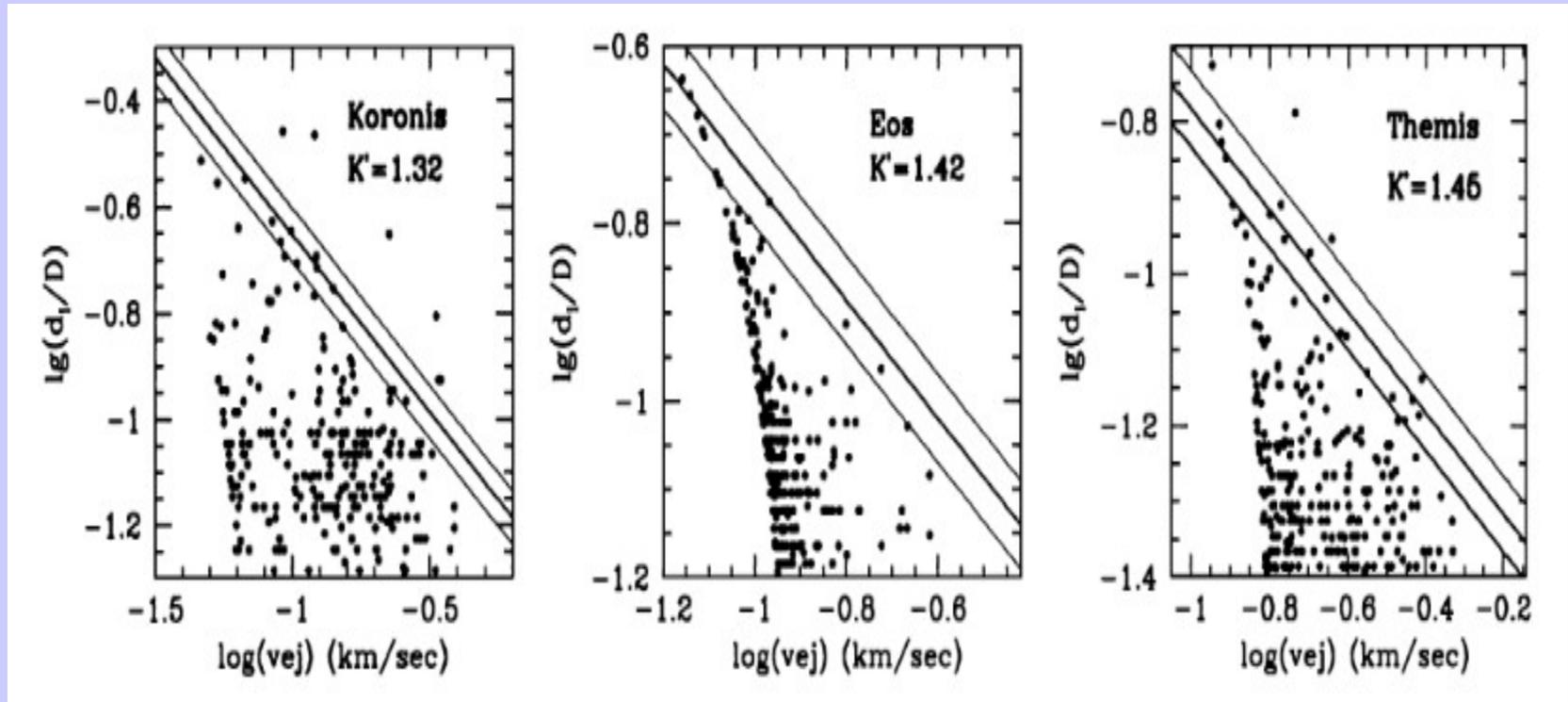
$$\frac{1}{2} \frac{m_i}{M} V_i^2 = f_{ke} \frac{E_k}{M}$$

$$\left(\frac{r_i}{R}\right)^3 = 2f_{ke} \frac{E_k}{M} V_i^{-2}$$

$$K' = -\frac{2}{3} f_{ke} \frac{E_k}{M}$$

$$\log \left(\frac{r_i}{R}\right) = -\frac{2}{3} \log V_i - K'$$

Familias de asteroides



Cellino et al. (1999)

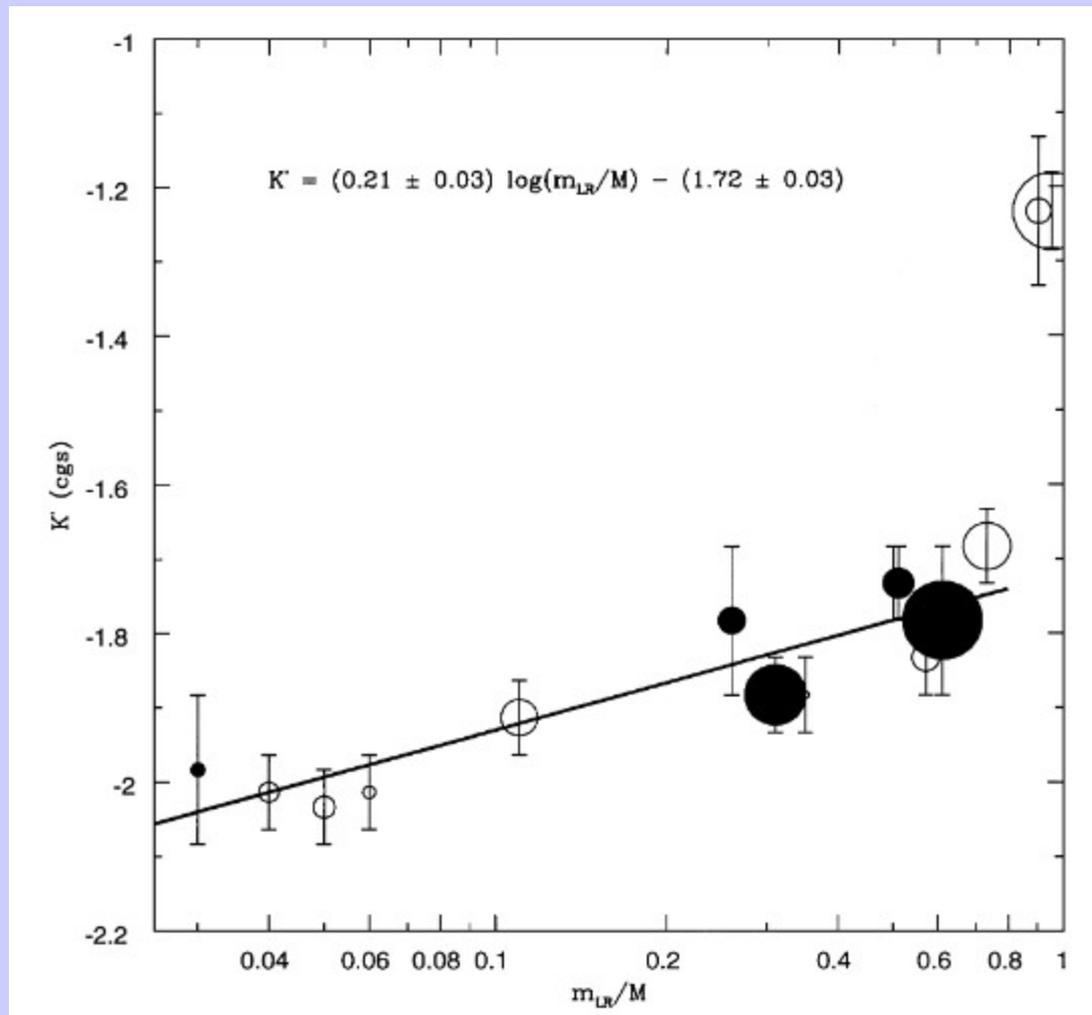
Familias de asteroides

$$f_t = \frac{1}{2} \left(\frac{2SM}{\rho E} \right)^b, \quad b = 1,24$$

$$\frac{E}{M} = \frac{2^{1-1/b}}{\rho} \frac{1}{f_t^{1/b}}$$

$$K' = -\frac{2}{3} f_{ke} \frac{E_k}{M}$$

Cellino et al. (1999)



Preguntas:

- En el HCM para encontrar familias, ¿cómo se define un límite razonable en velocidad de corte?
- ¿Si consideramos su composición, las familias serán homogéneas o inhomogéneas?.
- Durante los primeros Myr después de su formación, ¿hay más o menos probabilidades de colisión para un miembro cualquiera?.
- ¿Un estudio del campo de velocidades de una familia en que condiciones puede dejar de tener significado físico?.

Familias de asteroides