

Seminario de Postgrado

EL ESPACIO TRANSNEPTUNIANO

Clase: Contribución a otras poblaciones

Realizan integraciones numéricas diseñadas para estudiar el vínculo entre el EKB y los JFCs.

Definiciones:

Históricamente la clasificación de los cometas se basa en el período orbital.

$P > 200$: LPC,

$P < 200$: SPC (HTC y JFC).

Pero en LD 94 encuentran que la mayoría de los SPC pasaban de JFC a

HTC en la integración. Sin embargo, la cte de Tisserand (T) no variaba sus

tancialmente. \Rightarrow Adoptan una clasificación en términos de T

Definiciones:

- Cometas casi isotrópicos: $T < 2$ provenientes principalmente de la Nube de Oort.
- Cometas eclípticos: $T > 2$
 - ◆ JFCs: $2 < T < 3$, tienen encuentros de baja velocidad con Júpiter y por tanto pueden ser dominados dinámicamente por el planeta (coincide aprox con la clasificación según P)
 - ◆ $T > 3$ (no cruzan la órbita de Júpiter):
 - Cometas tipo Encke: $T > 3$ y $a < a_J$.
 - Cometas tipo Chirón: $T > 3$ y $a > a_J$ (\approx Centauros)
- Cometas visibles: $q < 2,5$ UA

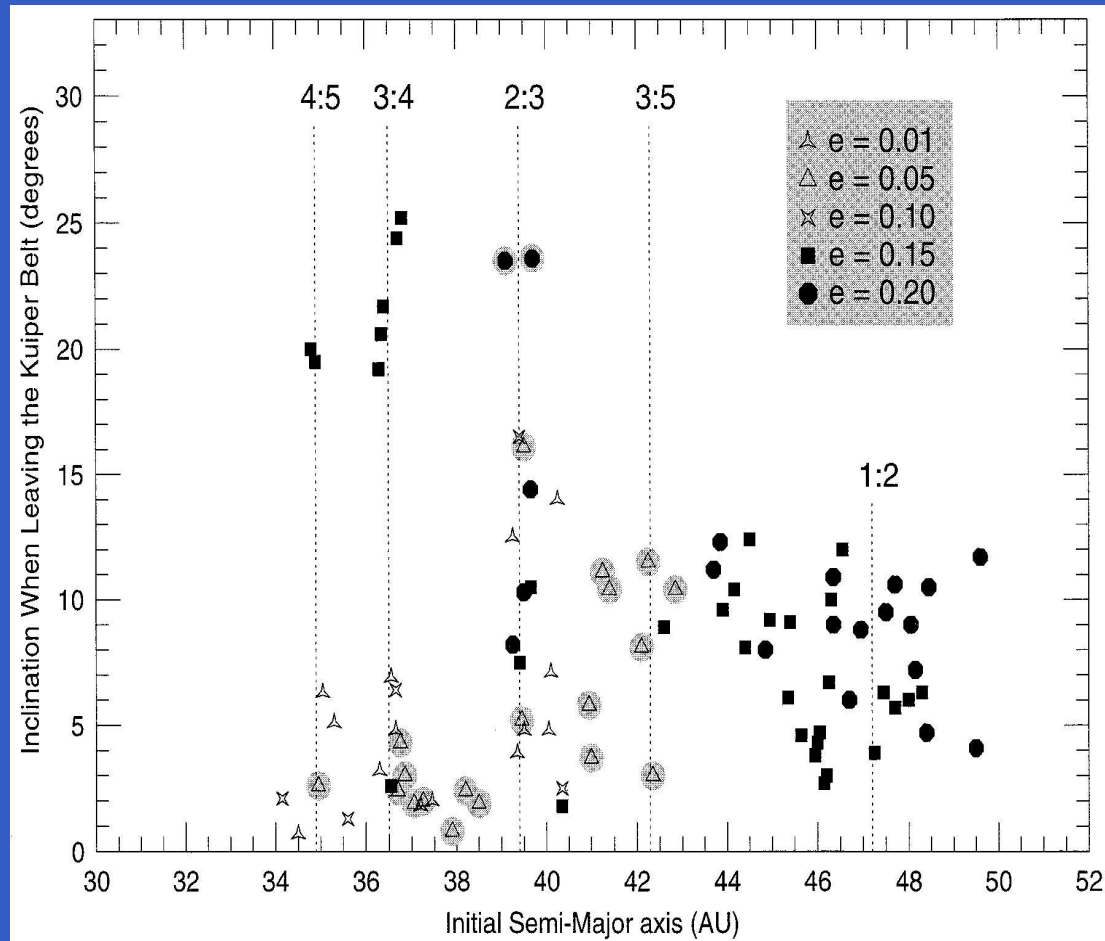
En DLB95 integran:

- 1300 partículas en el EKB
- $0,01 < e < 0,3$
- $i = 1^\circ$
- $T = 4 \text{ Gy}$

Paper Levison y Duncan 1997 - **Condiciones iniciales**

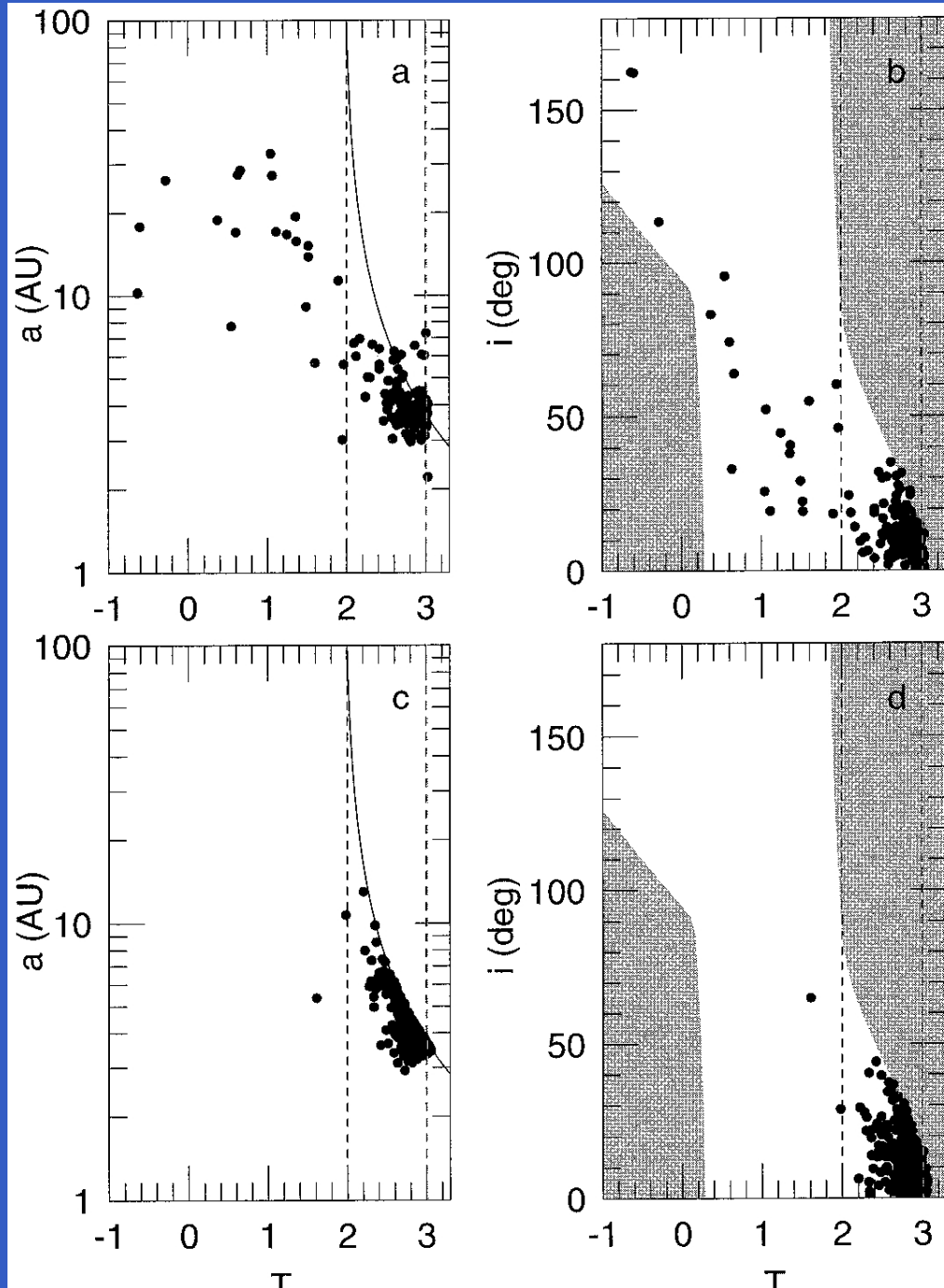
Inclinación de los objetos cuando dejan el EKB (tienen el primer encuentro fuerte con Neptuno), luego de haber estado estables durante 1 Gy, vs a inicial. Por tanto son órbitas representativas de objetos que dejan el EKB actualmente. Se eligen 20 partículas (grises) para los cálculos en este trabajo.

Figura 1:



- Cada partícula es integrada separadamente (t_i diferente)
- Cada partícula es clonada 99 o 149 veces, (cada coordenada).
- Sol + 4 planetas
- $T = 1$ Gy o hasta eyección, colisión con planeta o Sol o $a = 1000$ UA

Paper Levison y Duncan 1997 - Resultados de la simulación



a vs T: a y b: cometas reales, c y d: simulación ($q < 2,5$) UA.

- EKB produce JFC
- $\langle T \rangle = 2,8$ relacionado con la distribución de inclinaciones plana
- Handoff entre planetas

$$T = \frac{1}{a} + 2\sqrt{(1 - e^2)a} \cos i$$
$$T = \frac{2}{q+Q} + 2\sqrt{(2qQ/(q + Q))} \cos i$$

- Handoff hasta cometa visible: T cercano a 3
- Ningún planeta aumenta la inclinación de los objetos en la migración hacia adentro.
- 60 % de las partículas no son cometas visibles: $T \ll 3$ y no se observan como cometas eclípticos. Esto se debe a que cometas con T pequeño respecto a un planeta tienen más probabilidad de eyección que un cometa con T cercano a 3.

$$T_p = 2\sqrt{2q} \cos i$$

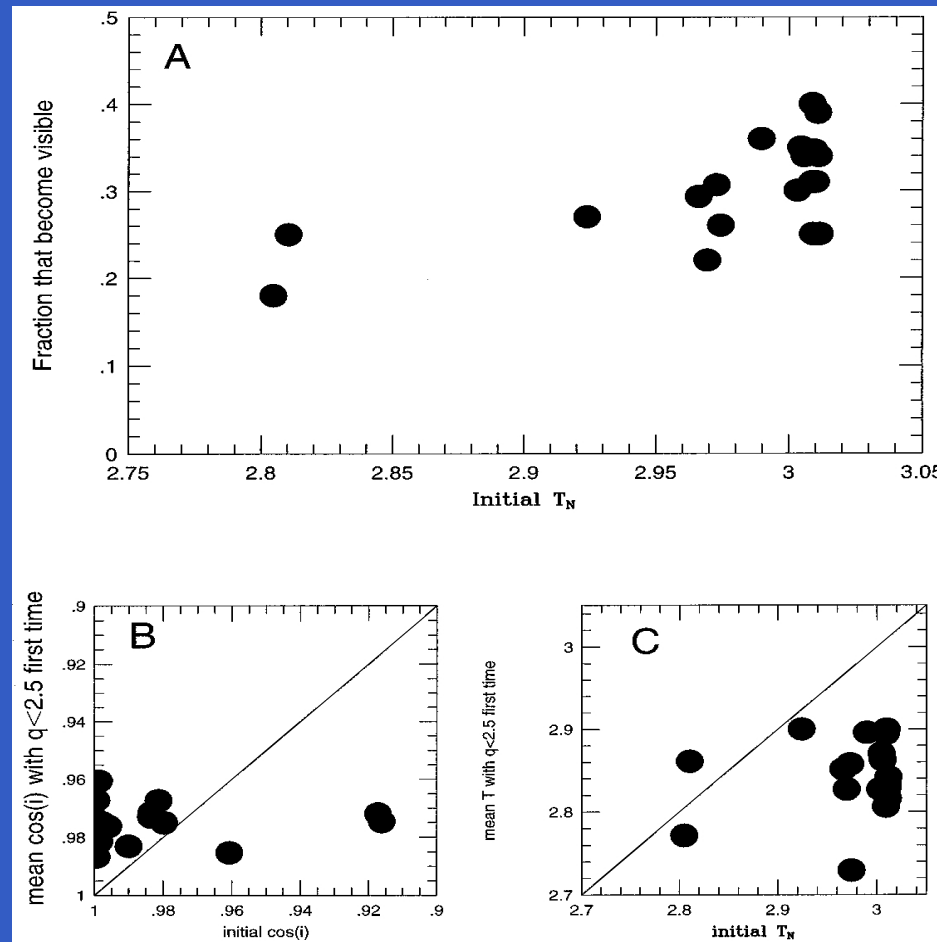
Para eyección: $q < a_p \rightarrow T_p \leq 2\sqrt{2q} \sim 2,83$

\rightarrow partículas con $T_p \geq 2\sqrt{2q}$ no pueden ser eyectadas por un planeta.

Paper Levison y Duncan 1997 - Resultados de la simulación

→ Debe haber una correlación entre la T inicial del cometa respecto a Neptuno y la probabilidad de que sea JFC (fig A). En cambio no se observa correlación entre la órbita inicial en el EKB y los JFC visibles (B y C)

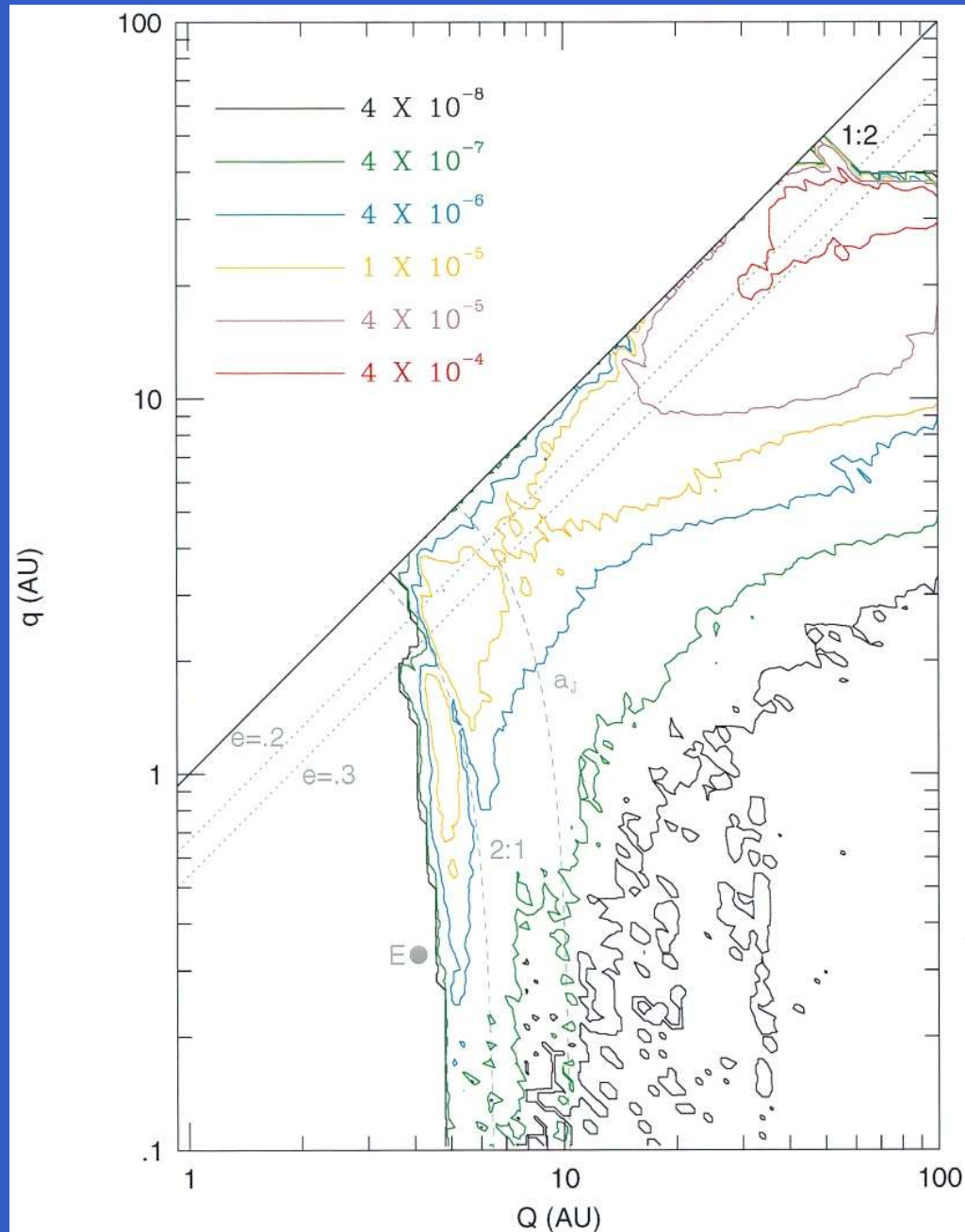
Figura 2:



Paper Levison y Duncan 1997 - Resultados de la simulación

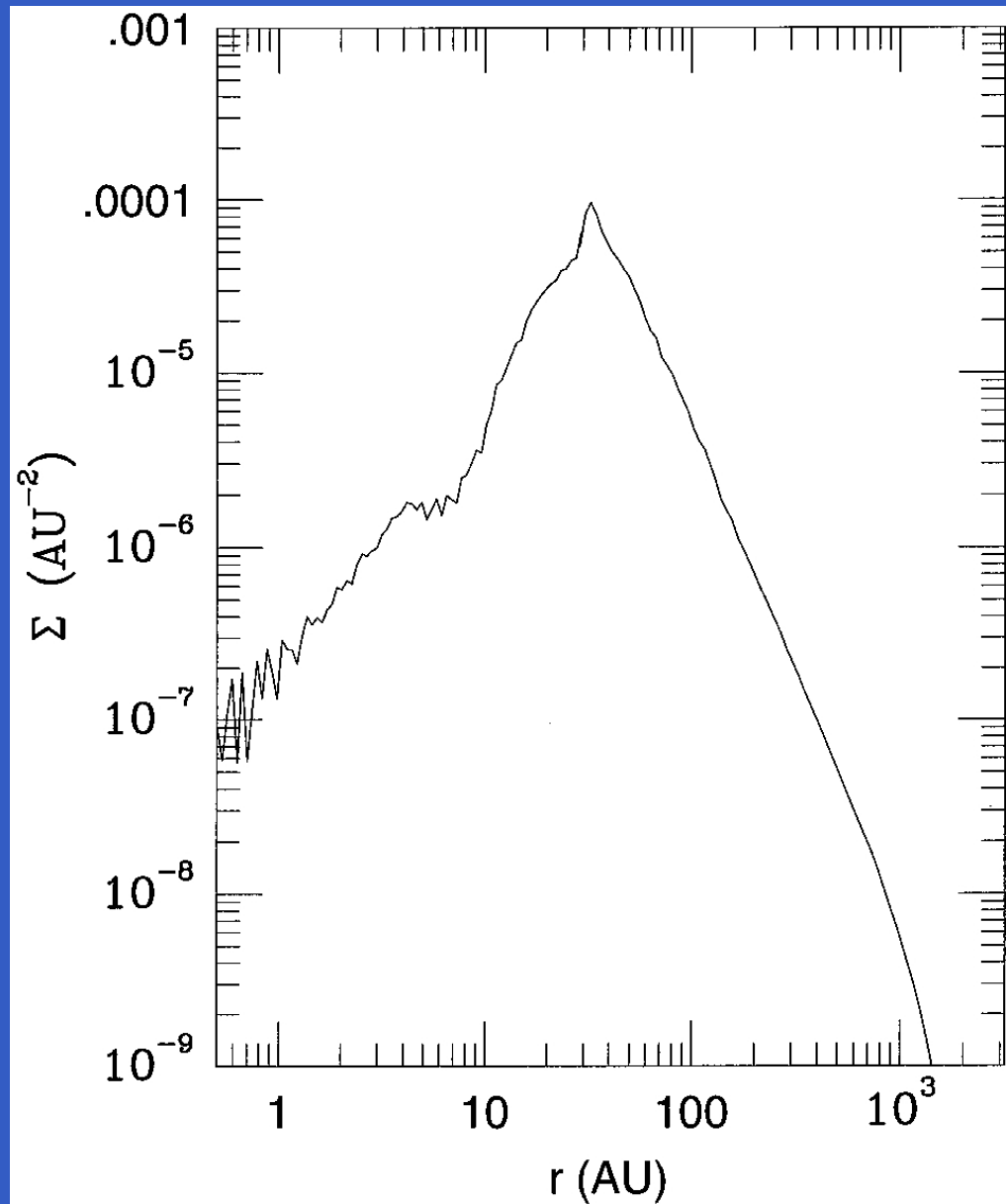
- $\langle lt \rangle = 4,5 \times 10^7$ años.
- 31 % : cometas visibles,
- Del resto: 25 %: eyectados, 68 % alcanzan $a > 1000$ UA.
- 1,5 % colisionan un planeta
- “Casi” no encuentran cometas tipo Halley ($T < 2$, $a < 40$ UA) (cometas tipo Halley se originan en la Nube de Oort).

Paper Levison y Duncan 1997 - Resultados de la simulación



Distribución de cometas eclípticos de la simulación. Se muestran contornos de la fracción de cometas por UA cuadrada en el espacio (q, Q) (normalizado). Se ven dos regiones diferentes con $Q > 7$ UA y $Q < 7$ UA. Aparecen objetos con q distribuidos a través del sistema solar exterior que tienen afelios más allá de los planetas: SD

Paper Levison y Duncan 1997 - Resultados de la simulación



Densidad superficial de los cometas eclípticos normalizada.

$$\Sigma = \Sigma_0 r^{-\alpha}, \alpha = -2,8, r > 30 \text{ UA}$$

$$\alpha = 1,3, r < 8 \text{ UA}$$

Hay objetos que sobreviven el T de integración y tienen semieje fuera de la órbita de Neptuno \rightarrow si el EKB primordial fue muy masivo, debe existir una población de objetos significativa con excentricidad grande en un disco extendido más allá de la órbita de Neptuno (SD).

Paper Levison y Duncan 1997 - vida media de JFC

- τ = intervalo de tiempo desde que el cometa es inyectado por primera vez a una órbita con $q < 2,5$ UA y $2 < T < 3$.
- $\zeta(i, \tau)$ =, el nro de JFC visibles con inclinaciones entre i e $i + di$ y con edades entre τ y $\tau + d\tau$.

Si no hubiera agentes físicos y los cometas no se extinguieran, entonces la distribución de inclinaciones sería (activos + extintos):

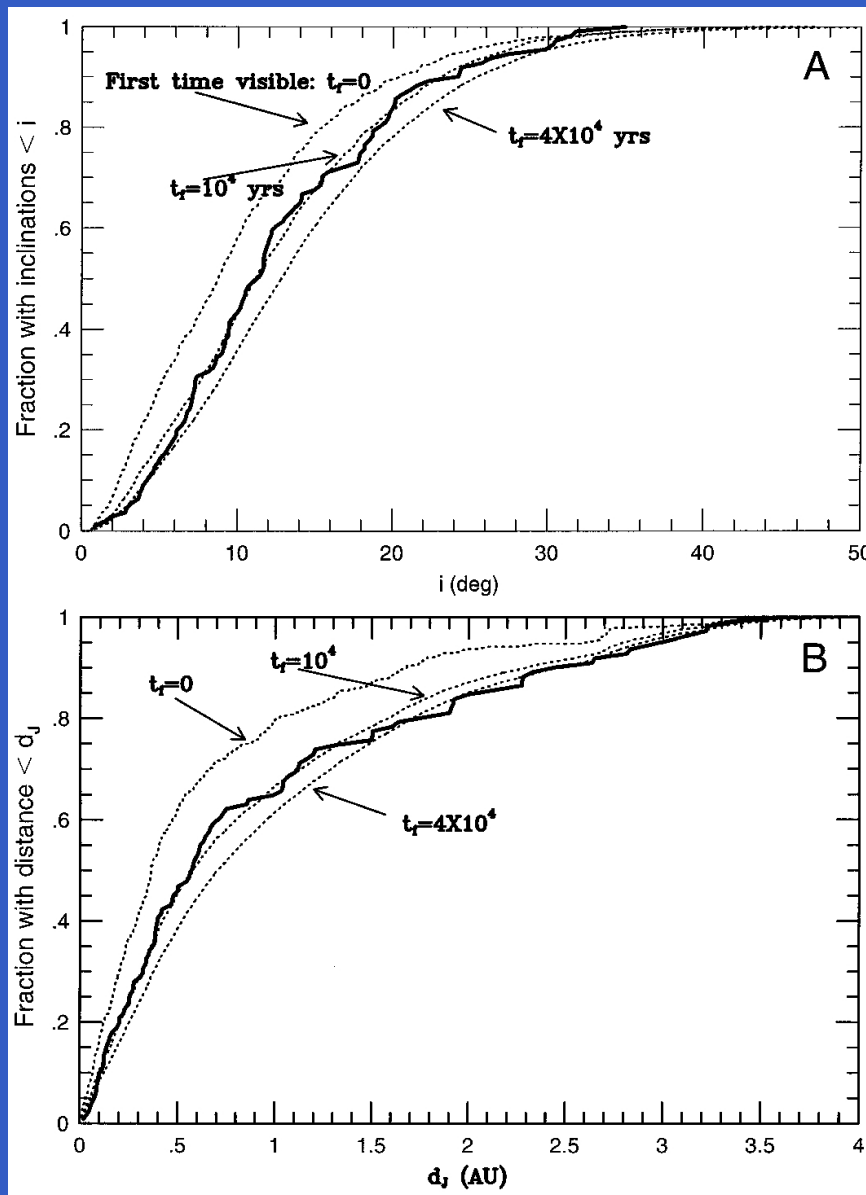
$$\xi(i) = \int_0^{\infty} \zeta(i, \tau) d\tau$$

Si se considera que todos los cometas permanecen activos por t_f años entonces la distribución de inclinaciones de los JFC activos visibles será:

$$\xi_{act}(i) = \int_0^{t_f} \zeta(i, \tau) d\tau$$

$\zeta(i, \tau)$ se puede calcular de las simulaciones y entonces calcular $\xi(i)$ y $\xi_{act}(i)$.

Paper Levison y Duncan 1997 - vida media de JFC



(A): distribución acumulada de inclinaciones de los JFC visibles observados (línea lisa) y de los JFC simulados para 3 valores de t_f .

(B) idema a A pero para la distribución de $d_j = \min(|r_a - a_j|, |r_d - a_j|)$

→ Adoptan $t_f = 12000$ años

Paper Levison y Duncan 1997 - Conclusiones

- La población del EKB es de $\approx 7 \times 10^9$ años
- En la evolución hacia adentro los objetos tienden a estar bajo el control gravitatorio de un planeta : handoff.
- Rango de T angosto se debe a que originalmente tenían T respecto de Neptuno en un rango también angosto.
- Cometas eclípticos: $\langle lt \rangle = 4,5 \times 10^7$ años.
- 5% sobreviven $T \rightarrow SD$
- Encuentran que el EKB puede ser la fuente de algunos cometas tipo Halley pero en gral serán extintos.
- JFC: $\langle lt \rangle = 12000$ años. Cociente entre JFCs extintos y activos = 3.5.
- Nro total de cometas eclípticos con $H_T < 9$ es igual a $1,2 \times 10^7$
- Obtienen que un cometa eclíptico impactará Júpiter una vez cada 400 años.