

# Evolución dinámica a largo plazo de los Troyanos de Júpiter

Ramos X.S.<sup>1</sup>, Di Sisto R.P.<sup>2</sup>, Beaugé C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IATE-CONICET, OAC, UNC

<sup>2</sup> IALP-CONICET, FCAyG-UNLP

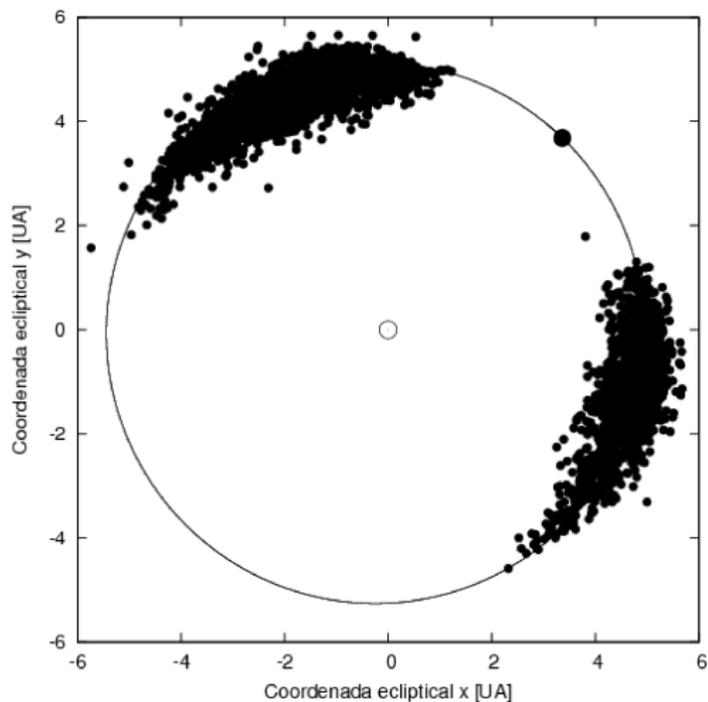
Di Sisto, Ramos y Beaugé (2014) aceptado en Icarus.

DOI: [10.1016/j.icarus.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.09.002)

57 Reunión Anual de la AAA

Córdoba, Septiembre 2014

# Troyanos de Júpiter



# Troyanos de Júpiter

## Asimetría en número de cuerpos

- La población de Troyanos observada en L4 es  $\sim 2$  veces la de L5.
- No existe una idea consensuada sobre el origen de esta asimetría hasta el momento.
- A partir de observaciones, Grav et al. (2011) determinaron que L4 presenta  $\sim 40\%$  veces más Troyanos que L5  $\Rightarrow$  asimetría.

# Troyanos de Júpiter

## Asimetría en número de cuerpos

- La población de Troyanos observada en L4 es  $\sim 2$  veces la de L5.
- No existe una idea consensuada sobre el origen de esta asimetría hasta el momento.
- A partir de observaciones, Grav et al. (2011) determinaron que L4 presenta  $\sim 40\%$  veces más Troyanos que L5  $\Rightarrow$  asimetría.

# Troyanos de Júpiter

## Asimetría en número de cuerpos

- La población de Troyanos observada en L4 es  $\sim 2$  veces la de L5.
- No existe una idea consensuada sobre el origen de esta asimetría hasta el momento.
- A partir de observaciones, Grav et al. (2011) determinaron que L4 presenta  $\sim 40\%$  veces más Troyanos que L5  $\Rightarrow$  asimetría.

# ¿Pueden las simulaciones dinámicas mostrar esta asimetría?

## Evolución de los Troyanos de Júpiter observados

Simulación I = evolución dinámica durante  $4.5 \times 10^9$  años de Troyanos observados

# Condiciones Iniciales

## Condiciones Iniciales

### Muestra:

2972 Troyanos extraídos de la base de datos del MPC para la época JD2456001.0 (28/05/2012).

Cuentan con designación definitiva.

L4 1975 Troyanos.

L5 997 Troyanos.

## Condiciones Iniciales

### Muestra:

2972 Troyanos extraídos de la base de datos del MPC para la época JD2456001.0 (28/05/2012).

Cuentan con designación definitiva.

L4 1975 Troyanos.

L5 997 Troyanos.

## Condiciones Iniciales

### Muestra:

2972 Troyanos extraídos de la base de datos del MPC para la época JD2456001.0 (28/05/2012).

Cuentan con designación definitiva.

L4 1975 Troyanos.

L5 997 Troyanos.

# Simulación Numérica I

## Código y simulación:

EVORB (Fernández et al. 2002).

- Planetas gigantes y el Sol.
- Paso 0.2 años ( $\sim \frac{1}{60}$  veces el período de Júpiter).
- Imprimimos los resultados cada 10000 años.

## Condiciones de corte del programa:

- Encuentro con un planeta dentro de la esfera de Hill del mismo.
- **Troyano escapado!**

# Simulación Numérica I

## Código y simulación:

EVORB (Fernández et al. 2002).

- Planetas gigantes y el Sol.
- Paso 0.2 años ( $\sim \frac{1}{60}$  veces el período de Júpiter).
- Imprimimos los resultados cada 10000 años.

## Condiciones de corte del programa:

- Encuentro con un planeta dentro de la esfera de Hill del mismo.
- **Troyano escapado!**

# Simulación Numérica I

## Código y simulación:

EVORB (Fernández et al. 2002).

- Planetas gigantes y el Sol.
- Paso 0.2 años ( $\sim \frac{1}{60}$  veces el período de Júpiter).
- Imprimimos los resultados cada 10000 años.

## Condiciones de corte del programa:

- Encuentro con un planeta dentro de la esfera de Hill del mismo.
- Troyano escapado!

# Simulación Numérica I

## Código y simulación:

EVORB (Fernández et al. 2002).

- Planetas gigantes y el Sol.
- Paso 0.2 años ( $\sim \frac{1}{60}$  veces el período de Júpiter).
- Imprimimos los resultados cada 10000 años.

## Condiciones de corte del programa:

- Encuentro con un planeta dentro de la esfera de Hill del mismo.
- Troyano escapado!

# Simulación Numérica I

## Código y simulación:

EVORB (Fernández et al. 2002).

- Planetas gigantes y el Sol.
- Paso 0.2 años ( $\sim \frac{1}{60}$  veces el período de Júpiter).
- Imprimimos los resultados cada 10000 años.

## Condiciones de corte del programa:

- Encuentro con un planeta dentro de la esfera de Hill del mismo.
- **Troyano escapado!**

## Resultados

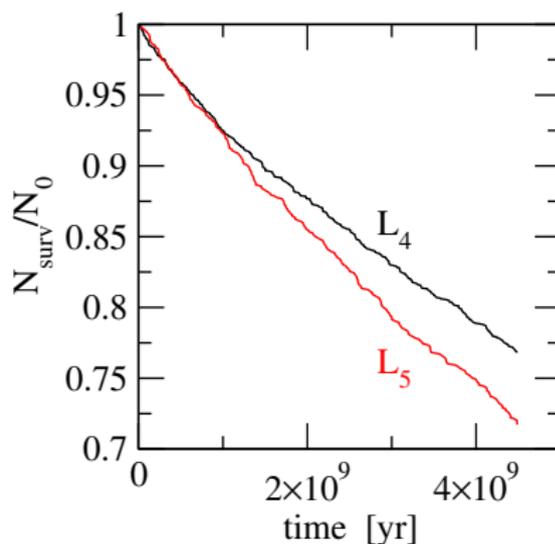
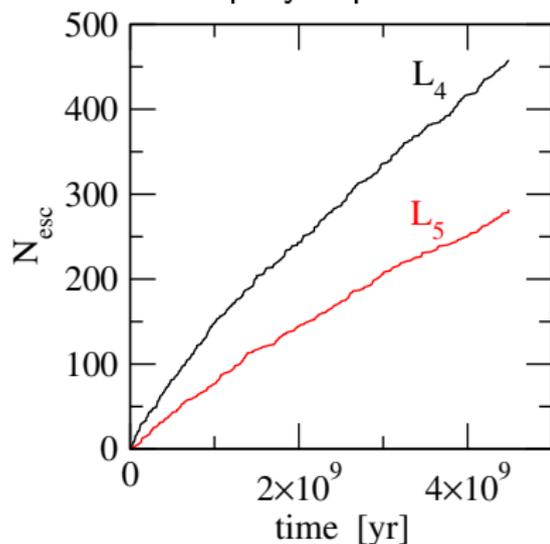
- El **23 %** de los Troyanos observados en L4 y el **28.3 %** en L5, escapan de la población durante la simulación.
- El **96 %** y el **99 %** de los objetos eyectados de L4 y L5 respectivamente, escapan debido a encuentros con Júpiter y el resto por encuentros con Saturno.

## Resultados

- El **23 %** de los Troyanos observados en L4 y el **28.3 %** en L5, escapan de la población durante la simulación.
- El **96 %** y el **99 %** de los objetos eyectados de L4 y L5 respectivamente, escapan debido a encuentros con Júpiter y el resto por encuentros con Saturno.

## Resultados

Tasa de escape y supervivencia:



## Resultados

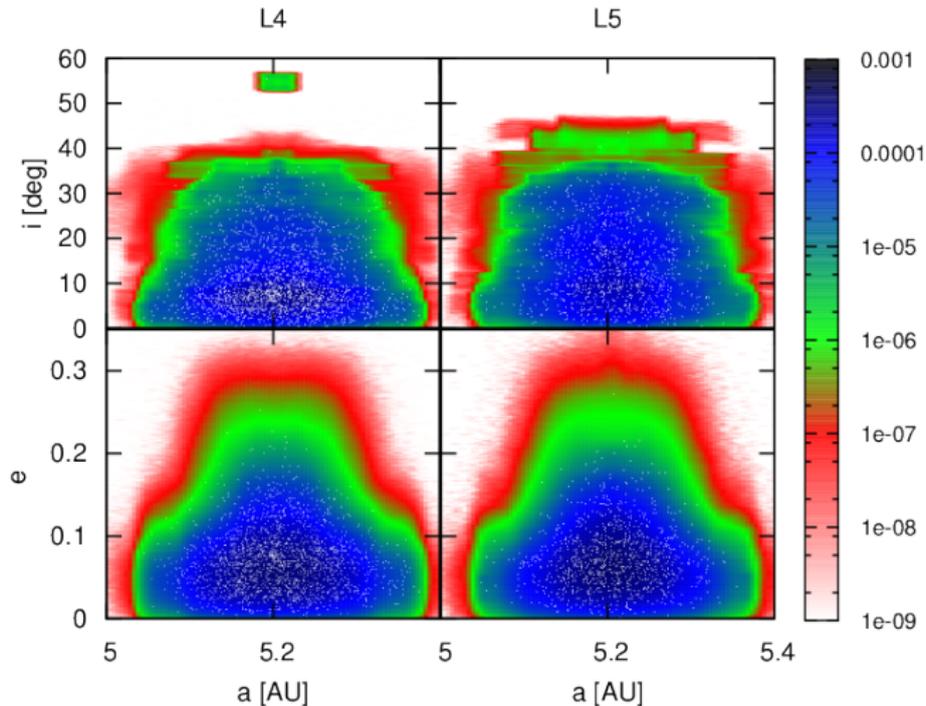
### Tasas de escape:

- A partir de las pendientes de los gráficos anteriores, determinamos que la tasa de supervivencia de cada población es:

$$\text{tasa}_{L4} = |3,9929 \times 10^{-11}| \text{ año}^{-1}, \quad \text{para } L4,$$

$$\text{tasa}_{L5} = |5,1166 \times 10^{-11}| \text{ año}^{-1}, \quad \text{para } L5.$$

## Resultados: Mapas dinámicos de permanencia



## Evolución de los Troyanos ficticios

Simulación II = evolución dinámica durante  $4.5 \times 10^9$  años de 18200 partículas ficticias

## Resultados

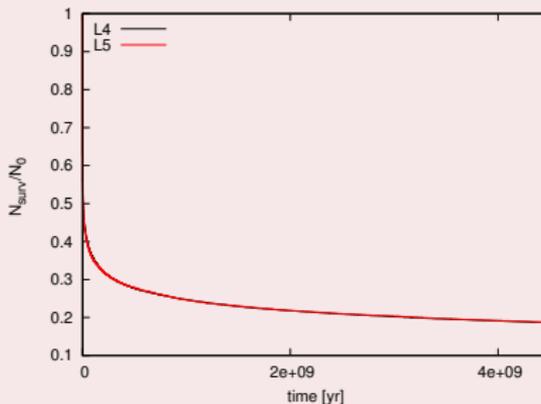
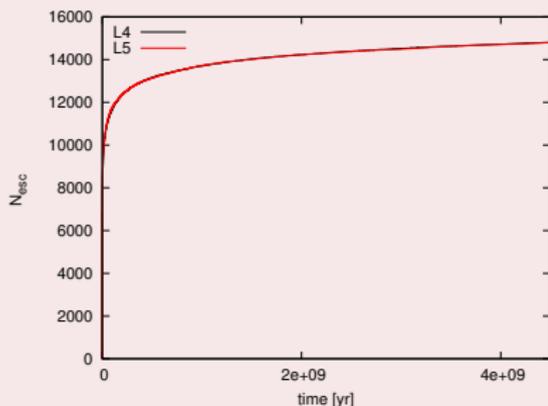
- El 81.4 % de las condiciones iniciales en ambos puntos escaparon.
- El 81 % de sufrieron encuentros con Júpiter y el restante con Saturno.

## Resultados

- El 81.4 % de las condiciones iniciales en ambos puntos escaparon.
- El 81 % de sufrieron encuentros con Júpiter y el restante con Saturno.

## Resultados

- El 81.4 % de las condiciones iniciales en ambos puntos escaparon.
- El 81 % de sufrieron encuentros con Júpiter y el restante con Saturno.



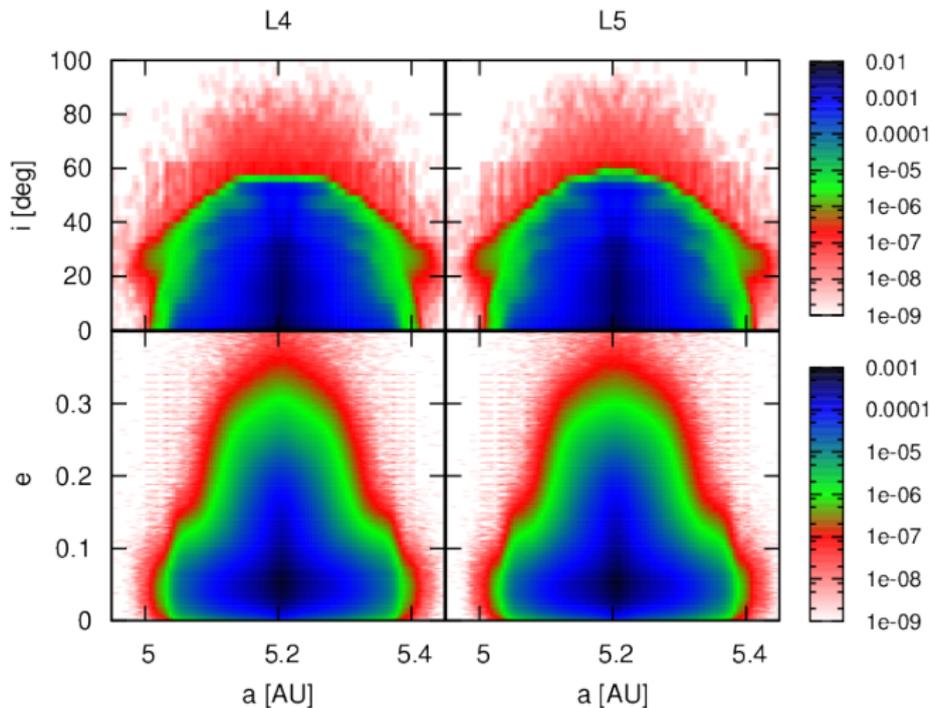
## Resultados

Tasas de escape:

$$\text{tasa}_{L4} = |1,10 \times 10^{-11}| \text{ año}^{-1}, \quad \text{para } L4,$$

$$\text{tasa}_{L5} = |1,07 \times 10^{-11}| \text{ año}^{-1}, \quad \text{para } L5.$$

## Resultados



## Resultados

## Comparación con la población observada

- Simulación II => misma tasa de escape.
- Simulación I => diferentes tasas de escape.
- Si la proporción de supervivencia de la Simulación I es significativa, entonces:

$$\frac{N_{surv}(L4)}{N_o(L4)} \simeq 1,07 \frac{N_{surv}(L5)}{N_o(L5)}$$

- Si, según Grav et al. (2011):  $\frac{N_{surv}(L4)}{N_{surv}(L5)} = 1,4 \pm 0,2$ , entonces:

$$\frac{N_o(L4)}{N_o(L5)} = 1,3 \pm 0,2$$

## Resultados

## Comparación con la población observada

- Simulación II => misma tasa de escape.
- Simulación I => diferentes tasas de escape.
- Si la proporción de supervivencia de la Simulación I es significativa, entonces:

$$\frac{N_{surv}(L4)}{N_o(L4)} \simeq 1,07 \frac{N_{surv}(L5)}{N_o(L5)}$$

- Si, según Grav et al. (2011):  $\frac{N_{surv}(L4)}{N_{surv}(L5)} = 1,4 \pm 0,2$ , entonces:

$$\frac{N_o(L4)}{N_o(L5)} = 1,3 \pm 0,2$$

## Resultados

## Comparación con la población observada

- Simulación II => misma tasa de escape.
- Simulación I => diferentes tasas de escape.
- Si la proporción de supervivencia de la Simulación I es significativa, entonces:

$$\frac{N_{surv}(L4)}{N_o(L4)} \simeq 1,07 \frac{N_{surv}(L5)}{N_o(L5)}$$

- Si, según Grav et al. (2011):  $\frac{N_{surv}(L4)}{N_{surv}(L5)} = 1,4 \pm 0,2$ , entonces:

$$\frac{N_o(L4)}{N_o(L5)} = 1,3 \pm 0,2$$

## Resultados

## Comparación con la población observada

- Simulación II => misma tasa de escape.
- Simulación I => diferentes tasas de escape.
- Si la proporción de supervivencia de la Simulación I es significativa, entonces:

$$\frac{N_{surv}(L4)}{N_o(L4)} \simeq 1,07 \frac{N_{surv}(L5)}{N_o(L5)}$$

- Si, según Grav et al. (2011):  $\frac{N_{surv}(L4)}{N_{surv}(L5)} = 1,4 \pm 0,2$ , entonces:

$$\frac{N_o(L4)}{N_o(L5)} = 1,3 \pm 0,2$$

## Resultados

## Comparación con la población observada

- Simulación II => misma tasa de escape.
- Simulación I => diferentes tasas de escape.
- Si la proporción de supervivencia de la Simulación I es significativa, entonces:

$$\frac{N_{surv}(L4)}{N_o(L4)} \simeq 1,07 \frac{N_{surv}(L5)}{N_o(L5)}$$

- Si, según Grav et al. (2011):  $\frac{N_{surv}(L4)}{N_{surv}(L5)} = 1,4 \pm 0,2$ , entonces:

$$\frac{N_o(L4)}{N_o(L5)} = 1,3 \pm 0,2$$

## Resultados

## Comparación con la población observada

- Simulación II => misma tasa de escape.
- Simulación I => diferentes tasas de escape.
- Si la proporción de supervivencia de la Simulación I es significativa, entonces:

$$\frac{N_{surv}(L4)}{N_o(L4)} \simeq 1,07 \frac{N_{surv}(L5)}{N_o(L5)}$$

- Si, según Grav et al. (2011):  $\frac{N_{surv}(L4)}{N_{surv}(L5)} = 1,4 \pm 0,2$ , entonces:

$$\frac{N_o(L4)}{N_o(L5)} = 1,3 \pm 0,2$$

## Comparación con la población observada

Por lo que:

- **La diferencia en la tasa de supervivencia entre L4 y L5 representa  $\sim 10\%$  de la asimetría total.**
- La asimetría observada debería ser primordial y relacionada con el proceso de captura/formación de estos asteroides.
- Dado que la dinámica es igual, la diferencia debe encontrarse en la distribución de los Troyanos en ambas regiones.

## Comparación con la población observada

Por lo que:

- La diferencia en la tasa de supervivencia entre L4 y L5 representa  $\sim 10\%$  de la asimetría total.
- La asimetría observada debería ser primordial y relacionada con el proceso de captura/formación de estos asteroides.
- Dado que la dinámica es igual, la diferencia debe encontrarse en la distribución de los Troyanos en ambas regiones.

## Comparación con la población observada

Por lo que:

- La diferencia en la tasa de supervivencia entre L4 y L5 representa  $\sim 10\%$  de la asimetría total.
- La asimetría observada debería ser primordial y relacionada con el proceso de captura/formación de estos asteroides.
- Dado que la dinámica es igual, la diferencia debe encontrarse en la distribución de los Troyanos en ambas regiones.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

