

# ESTRUCTURA DE LA REGIÓN TRANSNEPTUNIANA.

Se puede abordar desde:

⇒ La Teoría

⇒ La Observación

DESDE LA OBSERVACIÓN

LA DISTRIBUCIÓN ORBITAL Y ESPACIAL DEL  
CINTURÓN DE EDGEWORTH- KUIPER.

Tratamiento desde los surveys observacionales.

Paper de Kavelaars et al. (2008) (libro TNOs)

# Biases en la distribución orbital observada.

## - Bias de Flujo

Los objetos más brillantes son más fáciles de detectar y por tanto esto da una fracción desproporcionada de la población detectada.

Los TNOs se descubren en el óptico a partir de la luz que reflejan del Sol:

$$flujo \propto \frac{D^2}{\Lambda^2 R^2} \quad (1)$$

D: diámetro del objeto

$\Lambda$ : distancia entre la Tierra y el objeto

R: distancia entre el Sol y el objeto ( $R \sim \Lambda$ )

Esto resulta en por ejemplo:

objetos a 30 UA 8 veces o 2.3 mag más brillantes que objetos del mismo tamaño a 50 UA

o

un objetos con  $D = 1000$  km es 100 veces o 5 mag más brillante que un objeto de  $D = 100$  km.

Para determinar la población verdadera de la región TN se requiere conocer los límites de flujo del survey.

Por ejemplo, un resultado del bias de flujo es que los Plutinos son una fracción grande de la población observada.



El impacto general de este bias es que no hay información sólida de la población de objetos pequeños ( $D < 10$  km) y solamente información limitada de objetos distantes ( $\Delta > 50$  UA)

## - Bias de “apuntamiento”

Este bias depende de la latitud y longitud ecliptical del survey.

Un survey que está apuntado directamente a la eclíptica, es más eficiente en detectar objetos de menor inclinación que de alta inclinación. → Los objetos con altas inclinaciones, que pasan sólo una pequeña fracción de sus órbitas cerca del plano de la eclíptica, estarán pobremente representados en un survey “sobre la eclíptica”



Esto resulta en una muestra estadísticamente pobre de los objetos de alta inclinación.

Por ejemplo los plutinos, debido al bias de flujo, serán más probables de ser observados cerca del perihelio. Esto sucede a longitudes solares lejos de Neptuno o antineptuno, es decir cerca de la cuadratura (con Neptuno).

Más aun, cada resonancia tiene rangos de longitudes específicas (respecto a Neptuno) en las que los objetos llegan al perihelio.

## - Bias de efemérides

Durante un survey de objetos del sistema solar, la observación inicial del descubrimiento, da una estimación de la órbita del objeto.

Por ejemplo para objetos del cinturón de asteroides, un arco observacional de una semana es suficiente para una órbita robusta y razonable, tal que el objeto se pueda volver a encontrar más tarde.

Para TNOs, un arco de algunos días solo sirve para estimar la distancia actual y la inclinación orbital del objeto dentro de un 10 – 30 %.



Para predecir la posición de un objeto los días posteriores, se deben hacer fuertes suposiciones. La más común es órbita circular (es casi siempre incorrecta pero permite dar un orden de la localización del objeto.)

⇒ Los objetos para los cuales se hacen suposiciones incorrectas se perderán y con ellos parte del espacio de parámetros orbitales que representan.

El bias de efemérides tiende a mantener la distribución orbital tal cual la distribución asumida ya que se pierden más los objetos que representarían un espacio orbital “nuevo”. Por otra parte la distribución asumida puede no tener nada que ver con la real.

(ver Fig1 paper)

## - Bias de detección

Los surveys observacionales para TNOs se basan en la comparación de imágenes (por ej. blinking) o comparando catálogos fuente construidos en diferentes épocas.

Pero la densidad de asteroides en un dado campo es mucho mayor que la de TNOs,  $\Rightarrow$  el tiempo entre dos épocas se mantiene lo suficientemente corto como para minimizar la confusión asteroidal ( $\sim 1$  hora).

Combinando todas las dificultades técnicas, se tiene que objetos más allá de 75 UA se encontrarían muy raramente.

Por ejemplo, teniendo en cuenta los bias de flujo, apuntamiento, efemérides y detección, objetos de  $D \sim 500$  km en órbitas con alta inclinación y pericentros fuera de 50 UA serían rara vez detectados.



## - Diseño de un survey

Es imposible remover completamente todos los bias de un survey. Los bias de flujo, apuntamiento y detección reflejan el problema intrínseco de observar objetos del Sistema Solar.

Sin embargo el bias de efemérides se puede reducir, con programas de observación cuidadosamente planeados.

El bias de efemérides es máximo cuando los observadores creen completamente en las predicciones de las efemérides.

Un procedimiento para tender a eliminar el bias de efemérides es simplemente seguir al objeto más frecuentemente durante la oposición de descubrimiento, observando la misma gran area del cielo. El movimiento lento de los TNOs asegura que pueden ser re-observados dentro de unos pocos grados de su posición de descubrimiento a lo largo de varios meses o incluso años.

⇒ Un survey que trabaja en zonas del tamaño de algunos grados cuadrados podría obtener imagenes de cada zona repetidamente como para poder seguir a los objetos lo cual estaría libre de bias de efemérides.

(ver fig.2)

## - Lista de surveys de TNOs

| Survey         | Facility       | Area   | Depth | Secure | Detections | Reference                  |
|----------------|----------------|--------|-------|--------|------------|----------------------------|
| Irregular Sat. | CFHT/12K       | 11.85  | 24.0  | 0      | 66         | Petit et al. (2006a)       |
| DES            | KPNO/CTIO      | 550    | 22.0  | 217    | 486        | Elliot et al. (2005)       |
| ACS            | HST            | 0.02   | 28.3  | 0      | 3          | Bernstein et al. (2004)    |
| Caltech        | Pal 0.6 m      | 19389  | 20.5  | 54     | 71         | Trujillo and Brown (2003)  |
| Allen1         | KPNO           | 1.5    | 25.5  | 6      | 24         | Allen et al. (2001)        |
| Allen2         | CTIO           | 1.4    | 24.8  | 0      | 10         | Allen et al. (2002)        |
| SSDS           | Sloan          | 100    | 21.5  | 0      | 1          | Ivezic et al. (2001)       |
| KPNO-Large     | KPNO0.9/Mosaic | 164    | 21.1  | 4      | 4          | Trujillo et al. (2001a)    |
| CFH/12         | CFHT 3.6       | 0.31   | 25.93 | 2      | 17         | Gladman et al. (2001)      |
| CFHT           | CFHT 3.6       | 73     | 23.7  | 59     | 86         | Trujillo et al. (2001b)    |
| Spacewatch     | KPNO 0.9 m     | 1483.5 | 21.5  | 36     | 39         | Larsen et al. (2001)       |
| sKBO           | CFHT/12K       | 20.2   | 23.6  | 0      | 3          | Trujillo et al. (2000)     |
| sKBO           | UH2.2/8K       | 51.5   | 22.5  | 0      | 1          | Trujillo et al. (2000)     |
| Baker-Nunn     | APT-0.5 m      | 1428   | 18.8  | 1      | 1          | Sheppard et al. (2000)     |
| CB99           | KECK/LRIS      | 0.01   | 27.0  | 0      | 2          | Chiang and Brown (1999)    |
| SSO            | Siding Spring  | 12     | 21.0  | 0      | 1          | Brown and Webster (1998)   |
| JL Deep        | Keck           | 0.3    | 26.3  | 1      | 6          | Luu and Jewitt (1998)      |
| G98a           | CFHT/UH8k      | 0.35   | 24.6  | 1      | 1          | Gladman et al. (1998)      |
| G98b           | Pal 5 m        | 0.049  | 25.6  | 1      | 4          | Gladman et al. (1998)      |
| G98c           | Pal 5 m        | 0.075  | 25.0  | 0      | 0          | Gladman et al. (1998)      |
| JLT            | CFHT/UH8k      | 51.5   | 23.4  | 12     | 13         | Jewitt et al. (1998)       |
| Pluto-Express  | CFH12K         | 2.2    | 23.5  | 3      | 4          | Trujillo and Jewitt (1998) |
| MKCT           | UH2.2 m        | 3.9    | 24.2  | 10     | 14         | Jewitt et al. (1996)       |
| MKCT           | CTIO 1.5 m     | 4.4    | 23.2  | 1      | 3          | Jewitt et al. (1996)       |
| ITZ            | WHT            | 0.7    | 23.5  | 2      | 2          | Irwin et al. (1995)        |

## Estrategias analíticas para debiasing los surveys.

### - *La distribución de inclinaciones*

Desafortunadamente no se puede invertir la distribución de inclinaciones observada y desde allí determinar la función de distribución intrínseca.

Jewitt et al. (1996) notó por primera vez, que la distribución de inclinaciones en la zona TN debería ser algo más ancha. El detectó en su survey, cerca de la eclíptica, cierto número de objetos de alta inclinación ( $i > 10^\circ$ )

Brown (2001) desarrolló un método que permite comparar los modelos analíticos con las observaciones de la distribución de inclinaciones de TNOs.

El sugirió que una buena aproximación analítica de la distribución de inclinaciones era una superposición de dos gaussianas, tal que la distribución intrínseca está dada por:

$$f_t = \text{sen}(i) \left[ a e^{\frac{i^2}{2\sigma_1^2}} + (1 - a) e^{\frac{i^2}{2\sigma_2^2}} \right] \quad (2)$$

y la distribución eclíptica por  $f_e(i) = f_t(i) / \text{sen}(i)$ .

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  tienen valores para cada clase dinámica y esta ecuación da una representación razonable de la distribución de inclinaciones para cada clase.

Elliot et al (2005) encuentran que la población global de la region TN es mejor representada tanto como una Gaussiana doble o como una Gaussiana simple angosta más una Lorenziana.

La principal conclusión de su trabajo es que la distribución de inclinaciones global tiene dos picos.

- *La distribución de distancias*

Trujillo y Brown (2001) establecen que la distribución radial de material en la región TN, puede determinarse usando la distribución aparente radial por medio de la ecuación:

$$f(R) = \frac{\beta(R)f_{app}(R)}{\Gamma'(m_v)} \quad (3)$$

donde  $\beta = [\frac{R^2-R}{R_0^2-R_0}]^{q-1}$  es el factor de corrección por bias,

$f_{app}(R)$  es la distribución radial observada aparente

$R_0$  es el límite interno de la región TN,  $R_0 \sim 42$  UA para la zona TN como un todo y  $R_0 \sim 35$  UA para la componente dispersa, si se trata por separado

y  $\Gamma'(m_v)$  es la constante de normalización, la cual depende solo del flujo recibido de los objetos y no afecta la distribución radial.

Esta ecuación requiere lo siguiente:

- Todos los TNOs siguen la misma distribución de tamaños la cual es descrita por una ley de potencias
- Las observaciones se toman en oposición
- El albedo no es función del tamaño o de la distancia heliocéntrica.

Ver Fig. 3