

ESTRUCTURA DE LA REGIÓN TRANSNEPTUNIANA.

NOMENCLATURA EN EL SISTEMA SOLAR EXTERIOR.

Paper de Gladman et al. (2008) (libro TNOs pg. 43)

El Sistema Solar interior es, de alguna manera, análogo a la región transneptuniana y el trabajo se inspira en esto.

En el cinturón ppal, las subpoblaciones están demarcadas generalmente por resonancias de movimientos medios o seculares.

Por el contrario, los NEAs, una vez fuera del cinturón están separados por cortes arbitrarios en el espacio de elementos orbitales. Por ejemplo, la separación entre los Atenas y Apollos ($a = 1 \text{ UA}$) no tiene un significado dinámico real (solo que está la Tierra).

En la región TN, por razones históricas, el tema de la estabilidad, ha sido importante debido a cuestiones sobre la naturaleza primigenia de varias poblaciones y la posibilidad de que el llamado “Kuiper - belt” es la fuente de los JFCs.

Dado que los TNOs, como los NEOs pueden cambiar de clase en un futuro cercano o lejano, se adopta el criterio de que: la clasificación de un TNO debe basarse en su dinámica de corto plazo en vez de ver ya sea donde estará en el futuro o estuvo en el pasado.

Además se acepta que hay un cierto nivel de arbitrariedad en algunas definiciones.

El esquema de clasificación es un proceso de eliminación basado en, ya sea los elementos orbitales actuales y o los resultados de integraciones numéricas de 10 My.

Así clasificaron los TNOs del MPC con 3 oposiciones hasta Mayo de 2006.

En primer lugar, para hacer una clasificación dinámica de TNOs, se necesita definir que NO ES un TNO (Centauros, Nube de Oort, JFCs).

CENTAUROS Y COMETAS

Históricamente, los cometas periodicos se clasificaban según periodo

- Cometas de corto periodo, con $P < 200$ años
- Cometas de largo periodo con $P > 200$ años.

Actualmente se suele usar la constante de tisserand (T_J) con respecto a Júpiter para clasificarlos.

$$T_J = \frac{a_J}{a} + 2\cos(i)\sqrt{\left(\frac{a}{a_J}\right)(1 - e^2)} \quad (1)$$

Las órbitas que tienen encuentros con Júpiter, cortan la órbita de Júpiter y por tanto tienen $q < a_J$ y $T_J < 3$. (Ver que cuando $q = a_J$ y $e = 0$ entonces $T_J = 3$, órbitas circulares).

Pero si la inclinación crece o e crece, entonces T_J decrece hasta hacerse incluso negativa.

Entonces se necesita un límite inferior para T_J . En general se considera que $T_J < 2$ incluye cometas en órbitas retrógradas o de alta inclinación y excentricidad.

Pero cual es el límite superior de T_J más allá del cual los objetos son Centauros u objetos dispersados?.

El problema es que la órbita de Júpiter no es circular, entonces el límite de $T = 3$, para cruzadores de Júpiter no es tan cierto.

Más aun, existen cometas con T_J levemente mayor que 3 y otros que oscilan en torno a $T_J = 3$, por ejemplo el cometa 39P/Oterma que se mueve de una órbita enteramente fuera de Júpiter durante 25 años a una enteramente dentro y T_J permanece en el rango 3.00 a 3.04.

Entonces se asume un límite arbitrario superior de T . En este trabajo asumen $T = 3.05$. (Nosotros supusimos $T = 3.1$ en Di Sisto et al. (2009)).

Existe otro problema con T. Hay TNOs en órbita con perihelios muy lejos de Júpiter pero con inclinación tan alta que llevan a tener $T < 3.05$.

Entonces, usan además de T un límite para q.



Un cometa sería aquel con $T < 3.05$ y $q < 7.35$ (mitad de camino entre Júpiter y Saturno).

Esta definición deja a los Centauros bien lejos de los JFCs.

Ahora el problema es donde terminan los Centauros. En general se dice que son objetos que están mayormente entre los planetas gigantes. Entonces se toma el límite (arbitrario) para los Centauros $a < a_N$.

LA NUBE DE OORT INTERNA

Para determinar el límite entre los TNOs y la Nube de Oort, se preguntan donde la dinámica de un cuerpo distante es dominada por fuerzas externas.

Dones et al. (2004) muestran que existe una transición en la dinámica de TNOs dispersados por Neptuno en $a = 2000$ UA; para $a > 2000$ UA, el campo de marea galáctico y las estrellas que pasan alteran notablemente el q e i de los objetos.



Entonces se adopta $a = 2000$ UA como el límite formal de los TNOs y comienzo de la Nube de Oort.

Los objetos con $a > 2000$ UA pero $T_J < 3.05$ y $q < 7.35$ UA se consideran JFCs ya que están dominados por Júpiter.

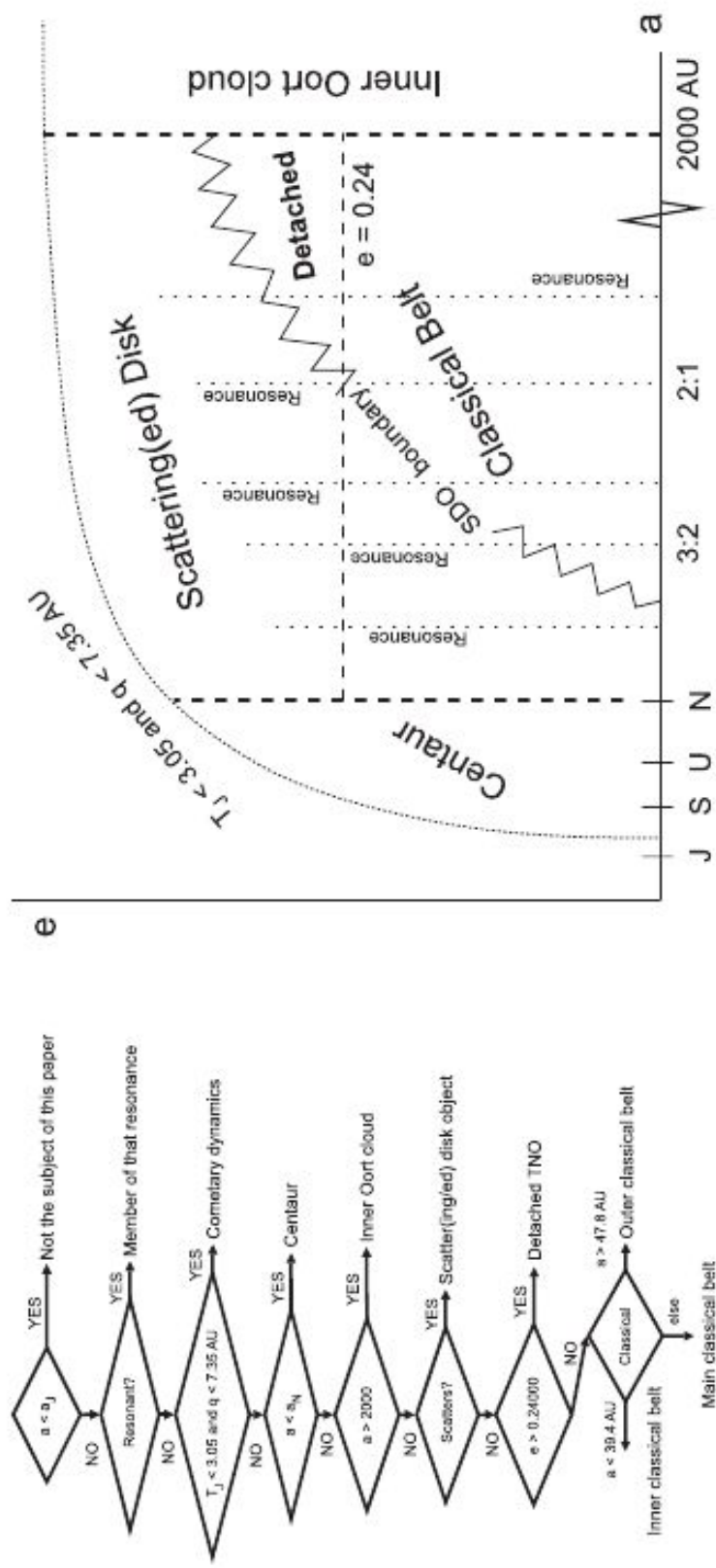


Fig. 1. *Left:* Flowchart for the outer solar system nomenclature. When orbital elements are involved they should be interpreted as the osculating barycentric elements. *Right:* A cartoon of the nomenclature scheme (not to scale). The boundaries between the Centaurs, JFCs, scattered disk, and inner Oort cloud are based on current orbital elements; the boundaries are *not* perihelion distance curves. Resonance inhabitation and the “fuzzy” SDO boundary are determined by 10-m.y. numerical integrations. The classical belt/detached TNO split is an arbitrary division.

OBJETOS RESONANTES

Adoptan la convención: resonancia $p:q$, a aquella con p periodos orbitales del objeto interior (usualmente Neptuno) y q periodos del TNO (por tanto $p > q$).

El orden de la resonancia es $p - q$ siendo las resonancias de más alto orden más débiles a menos que e sea alta.

La importancia de distinguir las resonancias radica en :

- Permiten identificar órbitas que pueden sobrevivir por 4.5 Gyrs.
- La naturaleza caótica de los bordes de la resonancia permiten atrapar SDOs temporalmente cerca de los bordes o que los objetos casi resonantes escapen hacia órbitas que cruzan Neptuno.
- Las poblaciones en las resonancias pueden ser indicadores de la migración planetaria.

La pertenencia a una resonancia se debe testear por integraciones numéricas de evolución orbital, no basta evaluar el semieje.

Algoritmo de clasificación

Se piensa que la clasificación de los TNOs es realmente creíble solo para los objetos con observaciones en 3 oposiciones.

El algoritmo de identificación que usan es similar al de Chiang et al. (2003) y Elliot et al. (2005) pero con modificaciones relacionadas a las definiciones de las poblaciones dispersas y a la evaluación de las incertezas en los parámetros orbitales de los TNOs.

Para cada objeto con 3 oposiciones, se realiza la determinación orbital por el método de Bernstein y Khushalani (2000). Se toma el mejor ajuste de la órbita baricéntrica junto con otras dos órbitas nominales, dadas por los extremos de la incerteza orbital en semieje mayor.

Se integran las 3 soluciones durante 10 My y se examinan resonancias con Neptuno de hasta hasta por lo menos 6 ordenes.

- Si en la integración de 10 Myr un argumento resonante particular, libra para las 3 órbitas iniciales, entonces el objeto tiene una *clasificación resonante segura*.
- Si 2 de las órbitas iniciales muestran comportamiento resonante, el objeto será clasificado como “*probablemente*” en una resonancia, lo que quiere decir que se necesitan más observaciones para reducir la incerteza orbital.
- Si una sola órbita muestra comportamiento resonante, entonces se clasifica al objeto como *no resonante* de acuerdo a las otras dos trayectorias.

Se encuentran los mismos objetos en resonancia que la clasificación de Elliot et al. (2005).

En particular, la población con $a > 50$ se descubre en general cerca del perihelio, y por tanto en órbitas de excentricidad alta. Esto favorece el descubrimiento de órbitas en resonancias de alto orden.

Este estudio reveló de hecho, un gran número de objetos resonantes con $a > 48.4$.

Hay que notar que esta clasificación no requiere que un objeto sea resonante por la edad del Sistema Solar, sino por 10 My lo que significa un número pequeño de libraciones.

Pero esto está de acuerdo con la filosofía del trabajo de clasificar la dinámica “actual” de los TNOs.

OBJETOS NO RESONANTES

Los autores piensan que una separación entre las clases clásica y SDOs no puede modelarse bien por una simple división ya que el borde entre las dos poblaciones es muy complejo.

Una división por perihelio no es buena ya que están involucrados todos los elementos orbitales.

Tampoco piensan que una separación según T sea apropiada.

Entonces se basan en las simulaciones numéricas para decidir si un objeto está interactuando fuertemente con Neptuno o no.

Scatering o scatered Disk Objects

El término "scatered disk" fue puesto originalmente a TNOs que fueron dispersados a órbitas con gran e y q cerca de Neptuno.

Dado que el origen de esta población no es claro, aquí se propone que los SDOs son aquellos objetos que están actualmente siendo dispersados activamente por Neptuno, en vez de adscribirles alguna idea sobre el origen.

Entonces clasifican un objeto como SDO si durante la integración de 10 My su semieje mayor a varía en más de 1.5 UA (similar criterio que Morbidelli et al. (2004)).

Encuentran muchos objetos clasificados actualmente como SDOs que en realidad son resonantes.

No se limita a $a > 50$ AU sino que se extiende hasta $a = 30$ AU.

TNOs detached (extendidos)

No toman el término “extended scattered” porque no está claro que estos objetos existan por scattering, en su lugar adoptan el término “detached” para notar que son objetos lejanos desacoplados de Neptuno y se refiere a la dinámica actual.

Entonces los “TNOs detached” son aquellos TNOs no dispersados con excentricidades $e > 0.24$ (arbitrario) y con $a < 2000$ AU, tal que las influencias externas no son importantes para su dinámica.

TNOs clásicos

Los objetos “clásicos” son los que quedan por un proceso de eliminación.

Aquí el cinturón clásico no está confinado entre las resonancias 3:2 y 2:1, incluso se extiende dentro hacia la región estable de baja e dentro de la resonancia 3:2, y fuera hacia las poco pobladas órbitas de baja e más allá de la resonancia 2:1.

Divide, solo porque puede ser útil, el cinturón clásico en: un

- Cinturón clásico interno: $a < 39.4$ UA, no resonantes.
- Cinturón clásico externo: $a > 48.4$ UA, no resonantes y $e < 0.24$.
- Cinturón clásico principal: a veces llamados cubewanos.

No separan en componente cold y hot, ya que piensan que el tema no está suficientemente explorado y puede ser arbitrario.

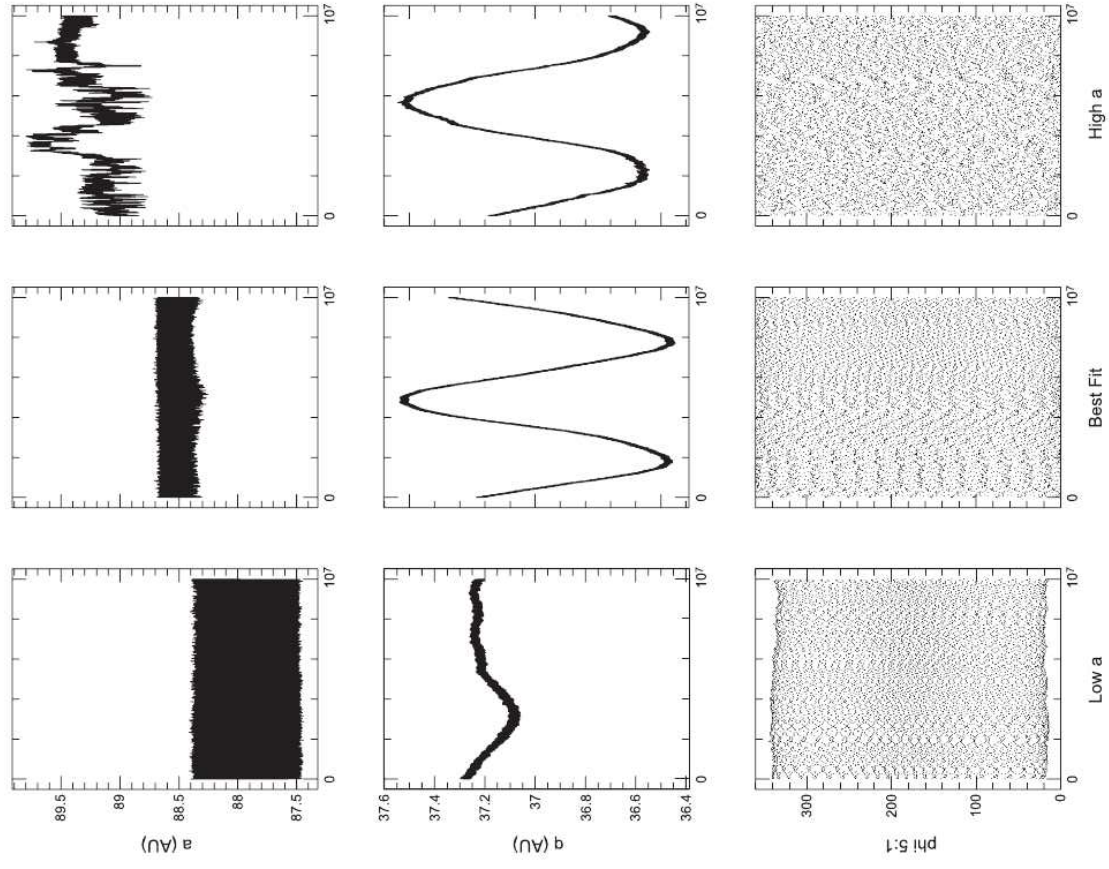


Fig. 6. The nonresonant (but insecure) classification of detached TNO 2003 YQ₁₇₉. The left, center, and right columns correspond to the orbital histories from the numerical integration of the lowest-*a*, best-fit, and highest-*a* orbits from the orbit uncertainty calculation. The best-fit and highest-*a* orbits show nonresonant behavior, and the nominal classification is “detached.” However, with the roughly ± 0.4 AU semimajor axis uncertainty, we find that the lowest-*a* orbit exhibits large-amplitude libration in the 5:1 mean-motion resonance. Further observations are needed to ensure that the true orbit is not in the 5:1.