

# Estabilidad de pequeñas lunas en el sistema Eris - Dysnomia, parte 2.

Valeria Abraham  
Trabajo final de Mecánica Celeste

## Resumen

En este trabajo continuaremos el análisis hecho en “Estabilidad de pequeñas lunas en sistemas de planetas enanos transneptunianos. El caso del sistema Eris - Dysnomia.” con un enfoque más profundo en las resonancias posiblemente reconocidas. Realizando integraciones numéricas para semiejes y excentricidades mayores a las vistas en el trabajo anterior.

## 1. Introducción

El sistema Plutón - Caronte cuenta con cuatro satélites pequeños, con sus configuraciones en el espacio tal que se encuentran cercanos a resonancias del tipo 1:N con Caronte. Además, la masa y radio de Caronte es comparable con Plutón. Podemos ver una similitud con el sistema Eris - Dysnomia, con la masa y radio de Dysnomia comparable a Eris. Si bien los cocientes entre los valores de Eris y Dysnomia son menores, propusimos en el trabajo anterior la posibilidad de encontrar satélites pequeños cerca de configuraciones resonantes para este sistema. Entonces definimos el objetivo del trabajo como encontrar y analizar zonas estables dentro del sistema Eris - Dysnomia, enfocándonos en las resonancias.

Resumimos las características dinámicas del sistema en el cuadro 1 y las características físicas en el cuadro 2.

Característica	Eris	Dysnomia
Semieje	68.118 UA	37273±64 km
Excentricidad	0.43197	0.0062±0.0010
Período orbital	562.21 años	15.78590±0.00005 días
Período de rotación	15.78590±0.00005 días	15.78590±0.00005 días
Inclinación	43.794°	-

Cuadro 1: Características de las órbitas de Eris y Dysnomia, en torno del Sol y Eris respectivamente. La inclinación de Dysnomia no está presente ya que no hay una publicación con estos datos.

Característica	Sistema	Eris	Dysnomia
Masa (kg)	$(1.6466±0.0085)×10^{22}$	$(1.602 - 1.632)×10^{22}$	$(1.431 - 4.45)×10^{20}$
Diámetro (km)		2326±12	700±115

Cuadro 2: Características físicas del sistema Eris - Dysnomia.

A diferencia del trabajo anterior, para realizar las integraciones vamos a tomar solamente el valor de masa máxima de Dysnomia  $4.45×10^{20}$  kg y el valor de masa máxima de Eris  $1.632×10^{22}$  kg.

Asimismo, proponemos como objetivo principal de este trabajo extender el rango de semiejes y excentricidades analizadas en busca de las zonas estables, siguiendo el enfoque en las resonancias del tipo 1:N. Teniendo en cuenta que el satélite pequeño más lejano de Plutón se encuentra casi en la resonancia 1:6 con Caronte, tomamos el rango de semiejes nuevo para que incluya esta resonancia en nuestro sistema.

## 2. Metodología

Teniendo en cuenta los objetivos del trabajo, primero utilizamos el programa **Superatlas** para determinar un alcance de los semiejes iniciales que vamos a integrar. Buscamos resonancias de orden menor a 9 y  $k, k_p < 10$ .

El rango de semiejes considerado es entre 100000 y 200000 km, lo que equivale, en radios de Eris, a un rango entre 86 y 172. Para realizar un análisis más extenso también consideramos un rango mayor de excentricidades, entre 0 y 0.9, para poder ver el efecto de las resonancias en excentricidades mayores. En cuanto a los demás elementos orbitales, seguimos lo realizado en la parte 1, donde consideramos el problema totalmente plano.

Para el análisis de las características de cada resonancia utilizamos el programa **Atlaspr**, que dado un rango de excentricidades y semiejes encuentra si hay resonancias y calcula su fuerza, período, localización, ancho y  $\sigma_0$ .

### 3. Resultados

Antes de presentar los mapas, presentamos la tabla 3, en donde podemos ver las resonancias encontradas para una partícula de  $e = 0,1$ ,  $i = 0^\circ$  y  $\omega, \Omega = 0^\circ$ , dentro del rango de semiejes considerado. Destacamos las dos primeras, 5 : 1 y 6 : 1, ya que son dos resonancias relevantes para el sistema de Plutón - Caronte, del cual basamos los objetivos del primer trabajo.

$k:k_{\text{Dysnomia}}$	$a(R_{\text{Eris}})$	$\langle R \rangle \times 10^{19}$	Ancho (km)	$\sigma_0$ ( $^\circ$ )	Período (años)
5:1	92.6	7.9572	0.03	180	$3.932 \times 10^5$
6:1	106	6.9958	0.01	180	$1.434 \times 10^6$
7:1	116	6.2826	0.002	180	$6.448 \times 10^6$
8:1	127	5.7282	0.0006	0	$2.893 \times 10^7$
9:2	86.2	8.5803	0.009	180	$6.295 \times 10^5$
9:1	138	5.2825	0.0005	0	$3.922 \times 10^7$
10:1	148	4.9149	0.0002	0	$8.272 \times 10^7$

Cuadro 3: Resonancias encontradas en el rango de semiejes entre 86 y 172  $R_{\text{Eris}}$  y sus características, calculado con **Superatlas**, para una partícula de  $e = 0,1$ ,  $i = 0^\circ$  y  $\omega, \Omega = 0^\circ$ .

De manera rápida y como dato curioso, podemos observar una única resonancia que no es del tipo 1:N, la 2:9, que además, es la más cercana a Dysnomia y la más fuerte en este cuadro. Otra característica a resaltar es que, por ahora, todas las resonancias parecen ser simétricas, con valores de  $\sigma_0$  0 o 180.

Ahora vamos a comparar las características de estas resonancias según la excentricidad de la partícula. Utilizando el programa **Atlaspr** obtenemos el período, ancho,  $\sigma_0$  y fuerza, entre otras cosas, según la excentricidad para cada resonancia. Comenzamos entonces con las fuerzas en la figura 1.

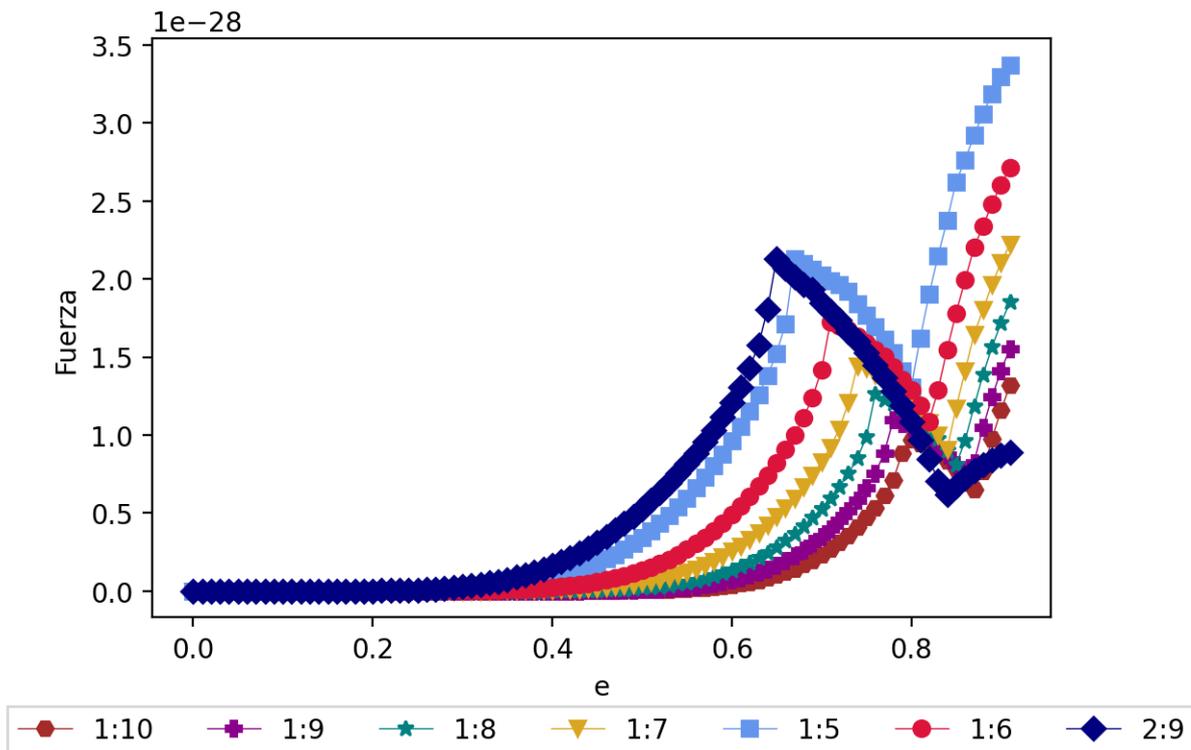


Figura 1: Fuerzas de las resonancias reconocidas en función de la excentricidad de la partícula.

Antes de compararlas entre ellas, vemos que todas las resonancias tienen una forma similar, aumentan de forma exponencial hasta determinada excentricidad, luego caen, y ya para los valores más altos vuelven a aumentar. Ahora sí, comparando los valores entre ellas, vemos claramente que hasta  $\approx 0,6$  la 2:9 es la más fuerte. Después de eso es la 1:5, que es la siguiente más cercana a Dysnomia. Podemos destacar que para 2:9, luego del punto máximo se mantiene como la más débil de todas. En cuanto a las demás, vemos la tendencia que con mayor  $N$  menor es su fuerza.

Continuamos con el período de estas resonancias en la figura 2.

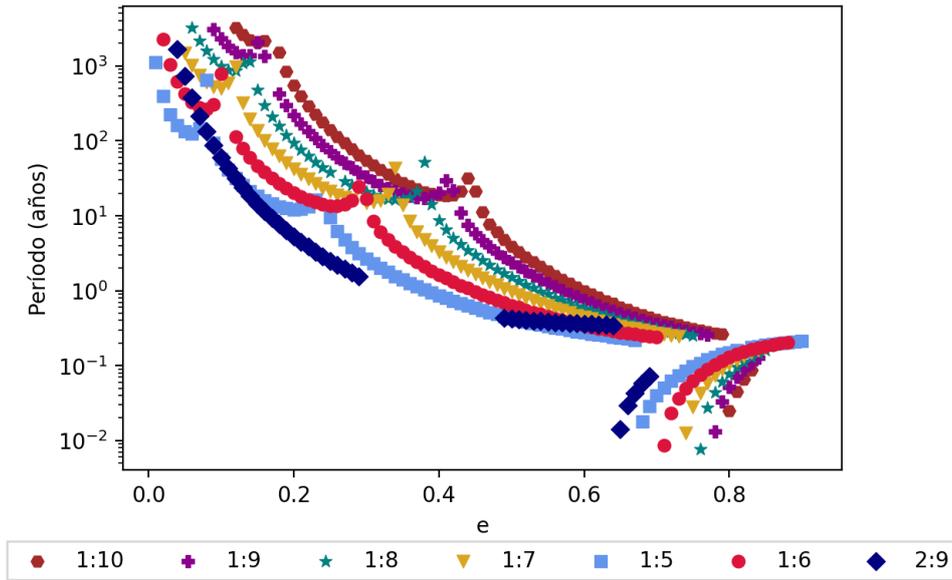


Figura 2: Períodos de las resonancias reconocidas en función de la excentricidad de la partícula.

En este caso, lo primero que notamos es la falta de datos entre 0.3 y 0.5 de excentricidad y a partir de 0.7 para la 2:9. Luego, en general, notamos la misma forma para todas las del tipo 1:N, que cuentan con varios máximos locales. También vemos que a partir de 0.6 los períodos decrecen abruptamente y comienzan a aumentar conforme aumenta  $e$ . Para las excentricidades más pequeñas no se pudieron calcular los períodos. Concordando con la figura 1, las de mayor período son las más débiles, correspondiendo a las de mayor  $N$  para las de tipo 1:N. En el rango donde la fuerza de 2:9 es el menor no contamos con los períodos para corroborar esta relación, de igual manera si corroboramos que es la de menor período en el rango de excentricidades donde es la más fuerte.

Seguimos ahora con la dependencia de  $\sigma_0$  para estas resonancias y vamos a determinar si son simétricas o asimétricas en la figura 3.

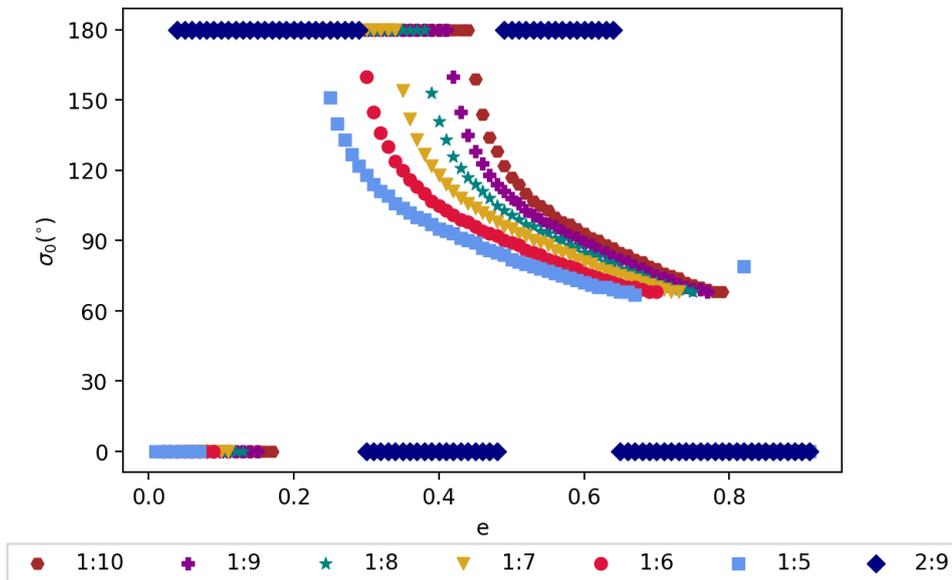


Figura 3:  $\sigma_0$  de las resonancias reconocidas en función de la excentricidad de la partícula.

Como en el trabajo anterior tenemos que las del tipo 1:N son claramente asimétricas, mientras que la 2:9 es simétrica. Las curvas descritas por las del tipo 1:N tienen formas similares entre ellas y con la descrita en la figura 4 para la 1:3.

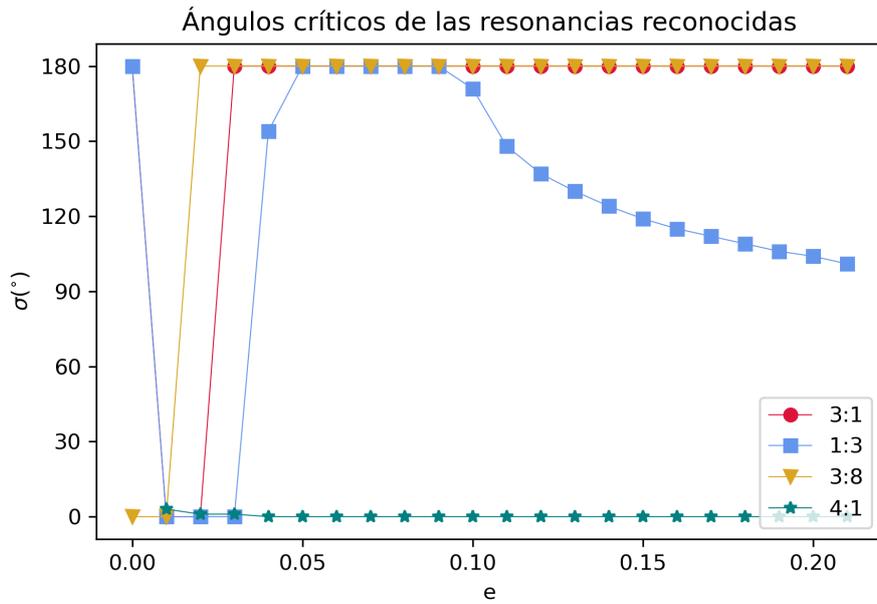


Figura 4:  $\sigma_0$  para las resonancias reconocidas en el trabajo anterior en función de la excentricidad de la partícula.

Terminemos este análisis de las resonancias observando el ancho de las mismas en la figura 5.

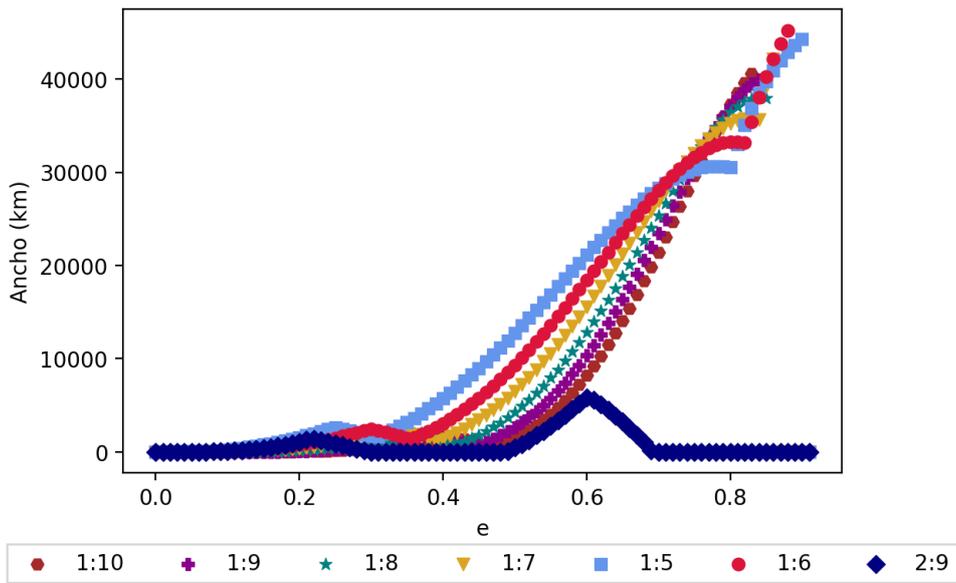


Figura 5: Anchos de las resonancias reconocidas en función de la excentricidad de la partícula.

Observando como evoluciona el ancho para las resonancias de tipo 1:N, tenemos que en excentricidades de valores “medios” (entre 0.1 y 0.4) la estructura se ensancha y luego decrece. Finalmente, a partir de  $\approx 0.4$  todas crecen abruptamente, hasta 0.8 donde algunas cercen y otras parecen permanecer constantes. Para el caso especial de la 2:9, vemos que se ensancha en dos lugares en particular, cerca de 0.2 y 0.6, para los otros valores permanece con menos ancho que todas las demás resonancias.

A partir de ver los anchos, podemos ver las formas que tienen estas resonancias, veamos primero para las del tipo 1:N en la figura 6.

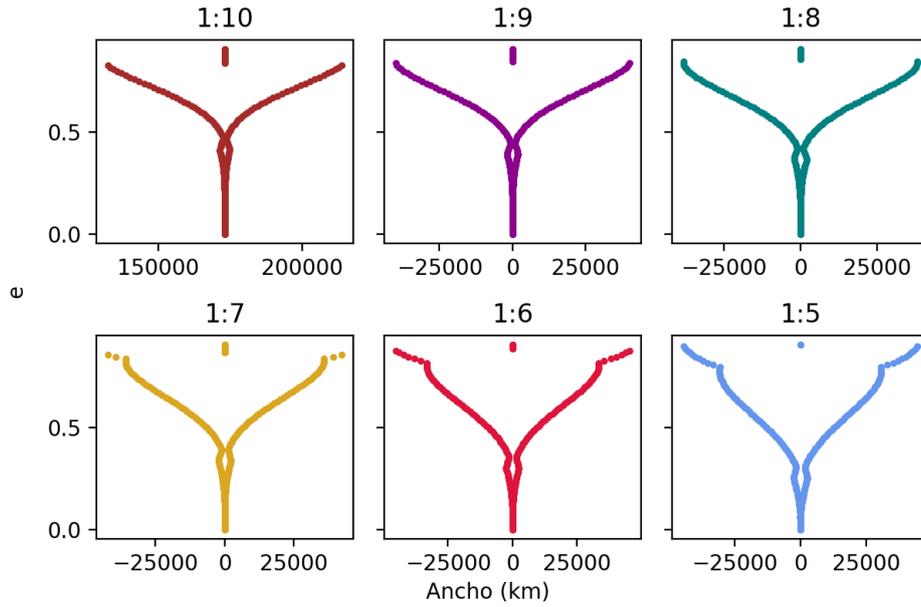


Figura 6: Formas de las resonancias del tipo 1:N (ancho en función de la excentricidad).

De manera general podemos observar que todas las resonancias tienen la misma forma, antes de determinada excentricidad se forma una “isla” donde el ancho crece y decrece, y luego vemos que crece, formando un reloj de arena. La diferencia más notoria es en qué valor de excentricidad esto sucede. Cuánto más pequeño es  $N$ , más pequeña es la excentricidad donde este ensanchamiento y posterior reloj de arena ocurre. También podemos observar que a grandes excentricidades el ancho vuelve a ser pequeño, pero supongo que es por algo del modelo que calcula el ancho y los valores grandes de  $e$ .

Ahora veamos la forma de la resonancia diferente 2:9, en la figura 7.

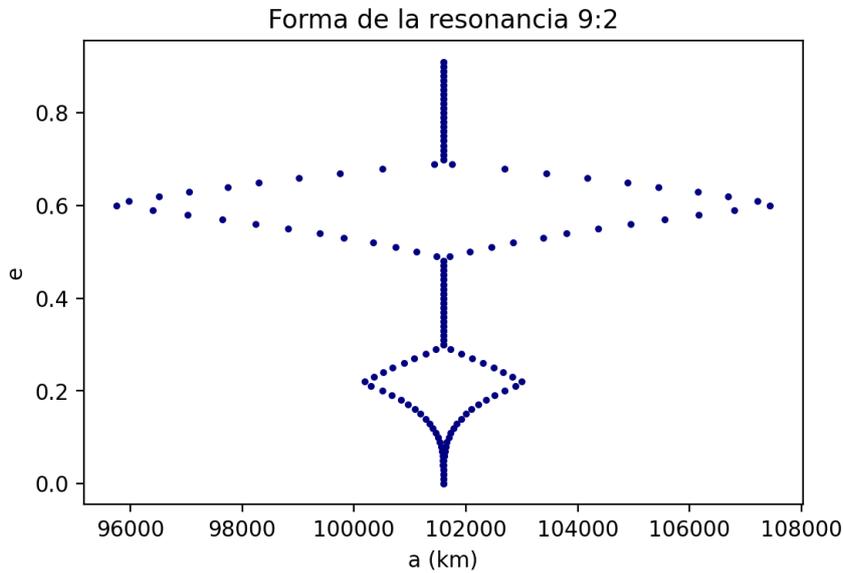


Figura 7: Forma de la resonancia 2:9.

Como podíamos adelantar con las anteriores figuras, la forma de esta resonancia no es igual a las demás, podemos apreciar dos rangos de excentricidades diferentes donde se ensancha, en torno a 0.2 y a 0.6. El ancho máximo que llega es de 5000 km, aunque comparándolo con los de las demás resonancias es pequeño, ya que las demás llegan a más de 25000 km para las excentricidades más altas.

## 4. Discusión y conclusiones

Recordando el objetivo de encontrar las resonancias del tipo 1:N para este nuevo rango de semiejes y excentricidades, logramos cumplirlo, con una conclusión preliminar sobre las resonancias de este tipo. Siendo que son asimétricas y tienen formas de reloj de arena. Esto también ocurría en el trabajo anterior, con la 1:3. Siguiendo con las coincidencias con el trabajo anterior, todas las resonancias exteriores parecen tener forma de reloj de arena.

Como en la parte 1, vemos que en las excentricidades más pequeñas las resonancias son más débiles, teniendo períodos de hasta 1000 años, que para este sistema es significativo.

## Apéndice

En esta sección dejamos las figuras de ancho, período,  $\sigma_0$  y forma según la excentricidad de todas las resonancias reconocidas separado por cada resonancia para hacer más fácil la interpretación de cada gráfica mencionada en la sección de resultados.

