

Explorando la Dinámica de Sistemas Planetarios y el caso del planeta 9

Tabaré Gallardo

Departamento de Astronomía
Facultad de Ciencias
Universidad de la República
Uruguay

Reunión Anual SUA,
Rocha, Setiembre 2016

Integradores orbitales: EVORB

Integrador EVORB

(version 15, Julio de 2009)

Integración orbital numérica de sistema de M partículas sin masa en el campo gravitacional de N planetas masivos y una estrella central.

VIRTUDES

- Es un integrador orbital muy simple de manejar y no por ello menos preciso: se requiere un único archivo de entrada: "datos.dat"
- Esta pensado para quien desea iniciarse en la experimentación de evolución orbital en sistemas planetarios.
- El programa maneja muy bien los encuentros de las partículas (sin masa, por ejemplo asteroides y cometas) con los planetas (masivos).
- Considera efectos relativistas (opcional)
- Integra hacia el futuro o hacia el pasado
- Sistema Operativo: Este programa viene en 2 sabores, Windows o Linux/Ubuntu,
- Instalación: No necesita instalación, simplemente descomprima evorb15.zip (para windows), o evorb15ubuntu.zip (para ubuntu), o 64bitlinux.zip (para ubuntu 64 bits), y copie los archivos a una carpeta.

www.fisica.edu.uy/~gallardo/evorb.html

COLISIONLAB

LABORATORIO VIRTUAL DE COLISIONES

de cuerpos menores con planetas

[Tabaré Gallardo](#) - [Departamento de Astronomía](#) - [Facultad de Ciencias](#) - Uruguay

Junio de 2008

[Disponible en el Portal URUGUAY Educa](#)

DESCRIPCION

solevorb

Buscar en este sitio

SOLEVORB

- Programa SOLEVORB
- Detalles de funcionamiento
- Análisis de resultados
- Proyecto Halley
- Recursos
- Descarga
- Presentación de SOLEVORB en APFU 2012

Proyectos sugeridos

- Proyecto Halley
- Proyecto PHA
- Sistema Planetario
- La barrera de Júpiter
- Extrasolares
- Origen de meteoritos
- Encuentro con Apophis
- Cometa Lovejoy
- Para estudiantes de FCien

Programa SOLEVORB

Evolución Orbital en el Sistema Solar
[Tabaré Gallardo](#) ([Facultad de Ciencias](#), [UdelaR](#), [PEDECIBA](#))

Nuestro Sistema Solar está compuesto por el Sol, 8 planetas, algunos "planeta-enanos" y una gran cantidad de "cuerpos menores" (asteroides, cometas, centauros, transneptunianos). Todos describen una órbita en torno del Sol, la cual está descrita por 6 elementos orbitales: a, e, i, longitud del nodo, argumento del perihelio y anomalía media en cierto instante. Los cuerpos mas masivos (planetas) se perturban mutuamente y a los demas generando variaciones en esos elementos orbitales. ¿Alguna vez se preguntó Ud. cómo será la evolución en el tiempo de la órbita de la Tierra? ¿o del cometa Halley? ¿o del planeta-enano Sedna? ¿o del asteroide Apophis, que algún día terminará impactando a la Tierra?

SOLEVORB es un sencillo (y sin embargo muy preciso) programa que le permitirá explorar la evolución orbital hacia el pasado y hacia el futuro de los cuerpos del Sistema Solar en escalas desde miles de años hasta miles de millones de años. Es una variante sencilla del [EVORB](#), de Brunini y Gallardo. Fue diseñado pensando en estudiantes con afinidad científica interesados en realizar un proyecto de iniciación a la investigación.

Este no es un programa de efemérides para determinar las coordenadas de un determinado objeto sino un programa de análisis de origen y evolución dinámica de los objetos. Las efemérides se calculan en intervalos de días, meses o años, en cambio la evolución dinámica ocurre en miles de años y más.

`sites.google.com/site/solevorb`

ORBE orbital integrator

Version 2, August 2016.

Numerical integration of an arbitrary planetary system composed by a central star and up to 100 planets and minor bodies.
For educational purposes only.

CHARACTERISTICS

- Designed to be used in the classroom to explore the long term orbital dynamics of planetary systems and minor bodies.
- Very simple usage. One plain text file with the initial conditions and one plain text output file with the results of the simulation.
- Integrates forward or backward in time.
- [Code available in Fortran](#). Compilations for Windows and Linux.
- Installation: does not need installation. Just download ORBE for [windows](#) or [linux](#), decompress and put the files in a folder.

RESTRICTIONS

- Maximum number of objects = 100. Can be changed manipulating the code.
- Not precise for objects that are experiencing close encounters.

`www.astronomia.edu.uy/orbe`

*MASS OF THE STAR IN SOLAR MASSES

1.0

*YEARS FROM PRESENT TO END THE SIMULATION

1000000.0

*INTERVAL FOR OUTPUT DATA IN YEARS

1000.0

*ORBITAL ELEMENTS: a e i node w M mass (in solar masses)

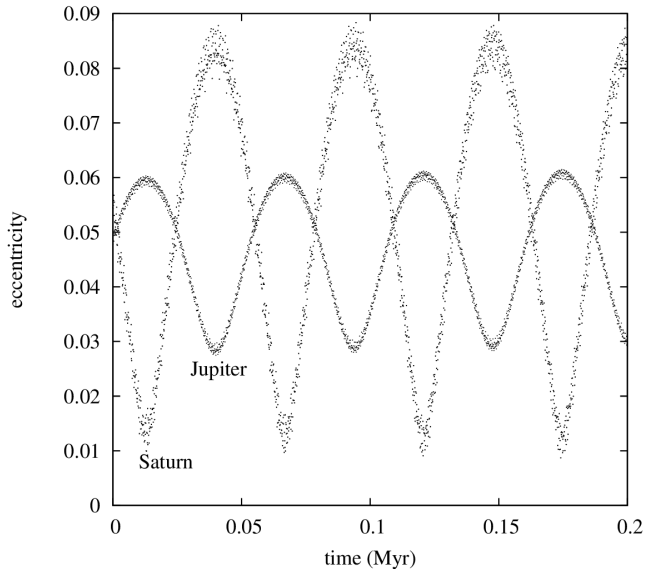
5.202040	0.048933	1.30	100.51	274.18	223.70	0.9547919E-03
9.551249	0.054508	2.49	113.63	340.06	38.63	0.2858859E-03
19.176263	0.048094	0.77	73.96	98.52	169.39	0.4366244E-04
30.098703	0.006894	1.77	131.78	264.31	283.25	0.5151389E-04
11.0	0.2	10.0	10.0	100.0	180.0	0.0

un ÚNICO archivo de salida

0.000000E+00	1	5.202040	0.048933	1.30	100.51	274.18	223.70
0.000000E+00	2	9.551249	0.054508	2.49	113.63	340.06	38.63
0.000000E+00	3	19.176263	0.048094	0.77	73.96	98.52	169.39
0.000000E+00	4	30.098703	0.006894	1.77	131.78	264.31	283.25
0.000000E+00	5	11.000000	0.200000	10.00	10.00	100.00	180.00
1.000000E+03	1	5.202749	0.049579	1.28	102.36	273.98	330.82
1.000000E+03	2	9.529841	0.050944	2.51	111.03	346.09	16.14
1.000000E+03	3	19.259335	0.044952	0.76	74.82	102.66	130.52
1.000000E+03	4	30.252949	0.013468	1.77	131.69	253.42	318.58
1.000000E+03	5	11.172606	0.207587	9.89	2.14	104.27	268.06
2.000000E+03	1	5.204561	0.051383	1.27	104.40	275.37	76.07
2.000000E+03	2	9.581951	0.051005	2.52	108.37	354.10	352.26
2.000000E+03	3	19.116935	0.045863	0.74	75.63	96.86	100.46
2.000000E+03	4	30.107957	0.012125	1.77	131.63	284.59	312.28
2.000000E+03	5	11.172297	0.206720	9.88	355.30	106.44	315.79

ORBE: ejemplos

Sistema Solar: acople entre Júpiter y Saturno



Conservación del momento angular $\vec{L}_{JS}$

Momento angular $\vec{L}$:

$$\vec{L} = m\sqrt{a(1-e^2)}(\sin i \cos \Omega, \sin i \sin \Omega, \cos i)$$

como $i \simeq 0^\circ$ tenemos

$$\vec{L} \simeq m\sqrt{a(1-e^2)}(0, 0, 1)$$

$$\Rightarrow L_{JS} \simeq m_J\sqrt{a_J(1-e_J^2)} + m_S\sqrt{a_S(1-e_S^2)}$$

$$\Rightarrow \Delta e_S \propto -\Delta e_J$$

... y si ponemos a Saturno retrógrado...

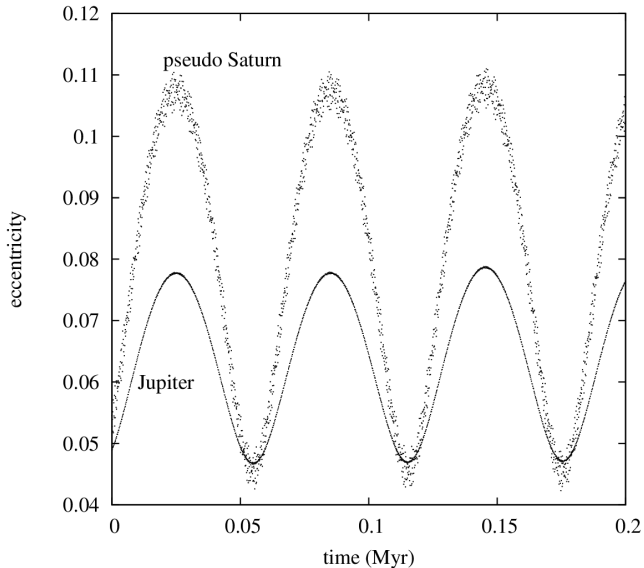
si $i_S \simeq 180^\circ$ entonces

$$\vec{L}_S \simeq m \sqrt{a(1 - e^2)} (0, 0, -1)$$

$$\Rightarrow L_{JS} \simeq m_J \sqrt{a_J(1 - e_J^2)} - m_S \sqrt{a_S(1 - e_S^2)}$$

$$\Rightarrow \Delta e_S \propto +\Delta e_J$$

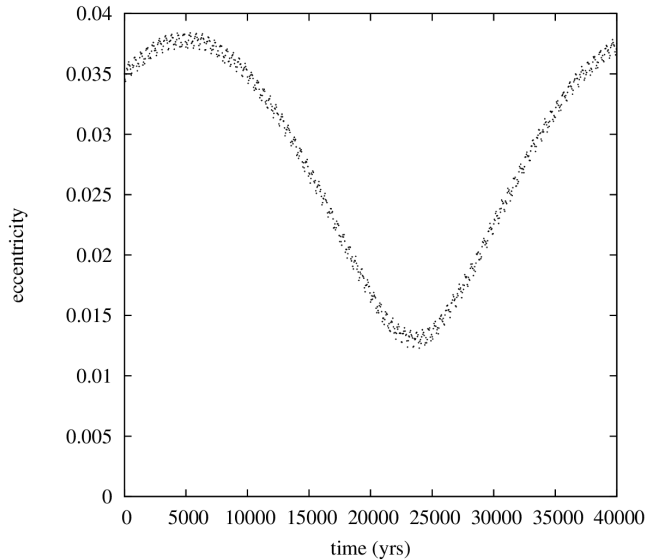
ORBE con Saturno retrógrado



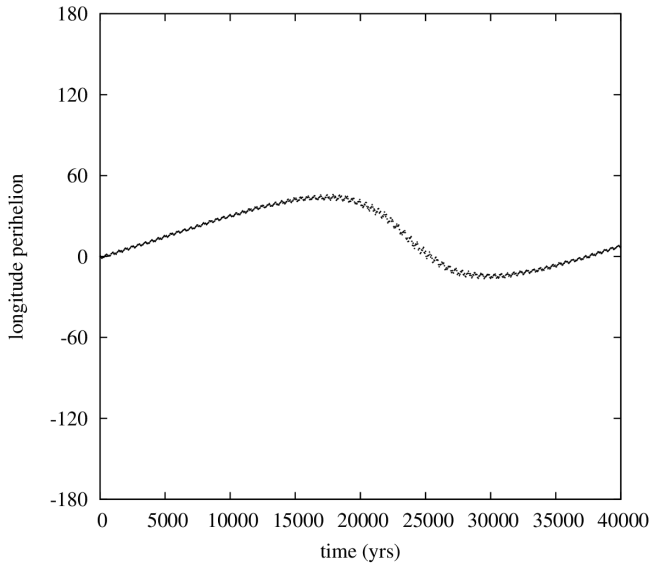
Otro ejemplo: asteroide perturbado por Júpiter

```
*MASS OF THE STAR IN SOLAR MASSES
1.0
*YEARS FROM PRESENT TO END THE SIMULATION
40000.0
*INTERVAL FOR OUTPUT DATA IN YEARS
50.0
*ORBITAL ELEMENTS: a e i node w M mass (in solar masses)
    2.3      0.035      0.5   90.0  270.0   0.0   0.0
    5.202040 0.048933  1.30 100.51 274.18 223.70 0.9547919E-03
```

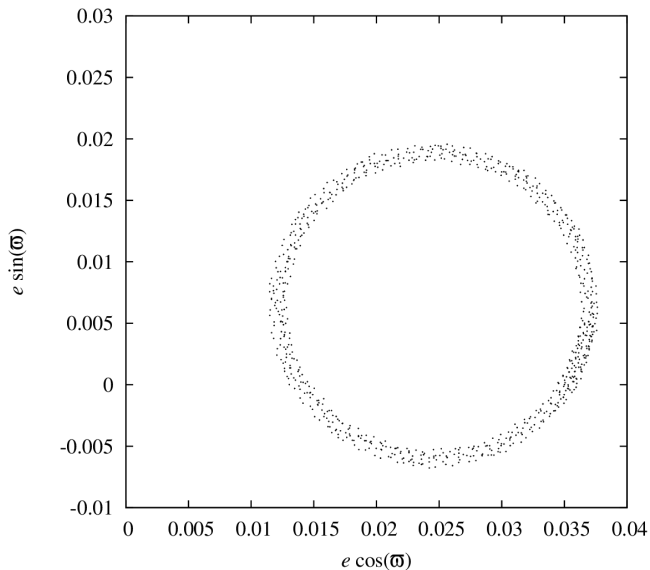
Excentricidad, e



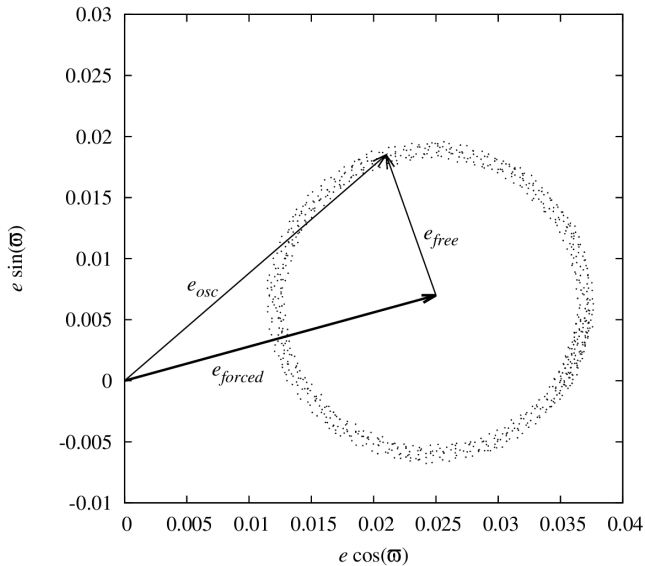
Longitud del perihelio, ϖ



Trayectoria en el plano ($e \cos \varpi$, $e \sin \varpi$)



Modo forzado



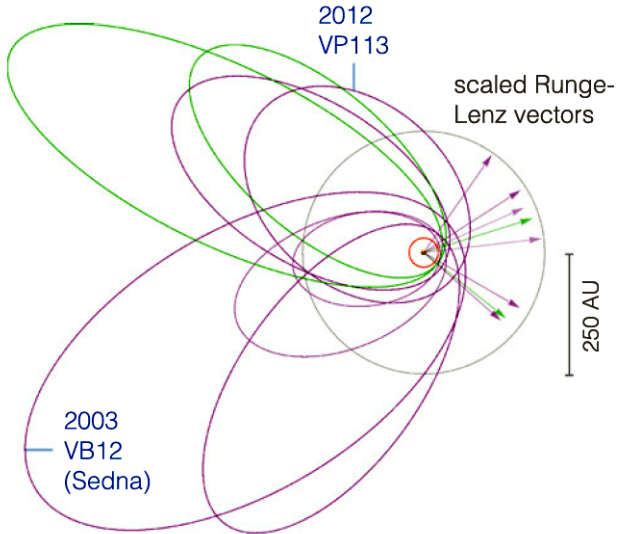
El asunto del planeta 9

EVIDENCE FOR A DISTANT GIANT PLANET IN THE SOLAR SYSTEM

KONSTANTIN BATYGIN AND MICHAEL E. BROWN

Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA; kbatygin@gps.caltech.edu

Received 2015 November 13; accepted 2016 January 10; published 2016 January 20



Experimento con ORBE

*MASS OF THE STAR IN SOLAR MASSES

1.0

*YEARS FROM PRESENT TO END THE SIMULATION

1000.d6

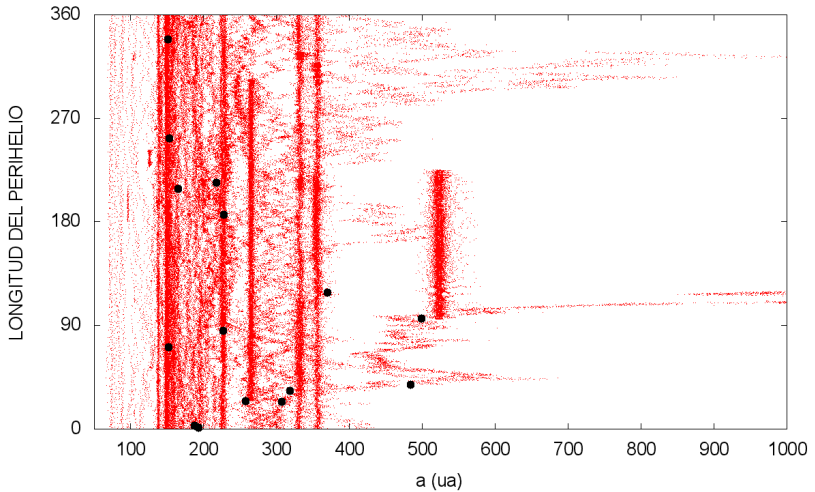
*INTERVAL FOR OUTPUT DATA IN YEARS

100000.0

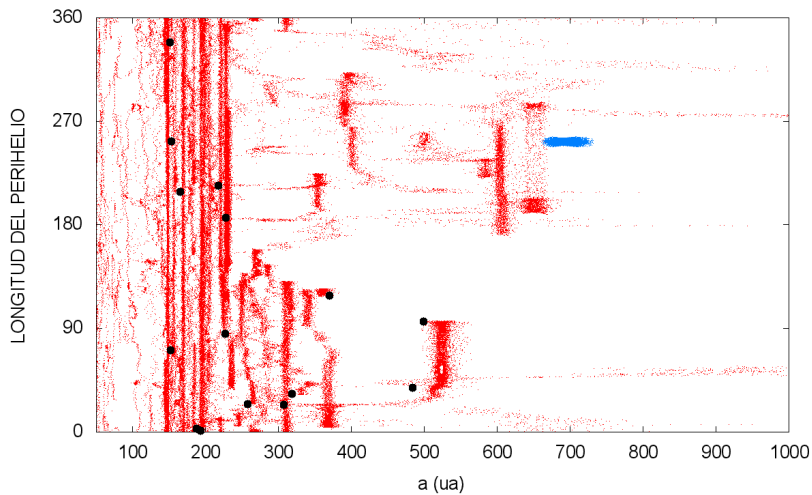
*ORBITAL ELEMENTS: a e i node w M mass (in solar masses)

5.202040	0.048933	1.30	100.51	274.18	223.70	0.9547919E-03
9.551249	0.054508	2.49	113.63	340.06	38.63	0.2858859E-03
19.176263	0.048094	0.77	73.96	98.52	169.39	0.4366244E-04
30.098703	0.006894	1.77	131.78	264.31	283.25	0.5151389E-04
700.0	0.6	30.0	100.0	150.0	180.0	0.3d-04
227.37847	.84931	30.756	179.299	7.0537	1.31730	0.0
499.24863	.84769	11.928	144.524	311.52	358.062	0.0

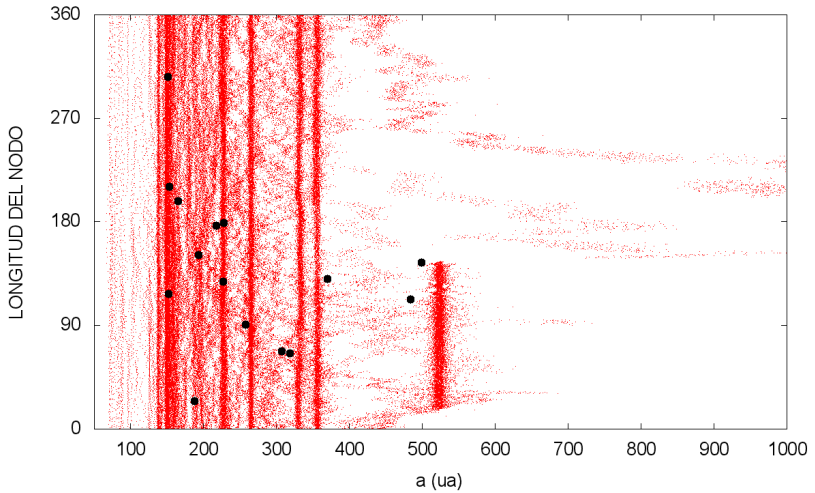
SIN PLANETA 9



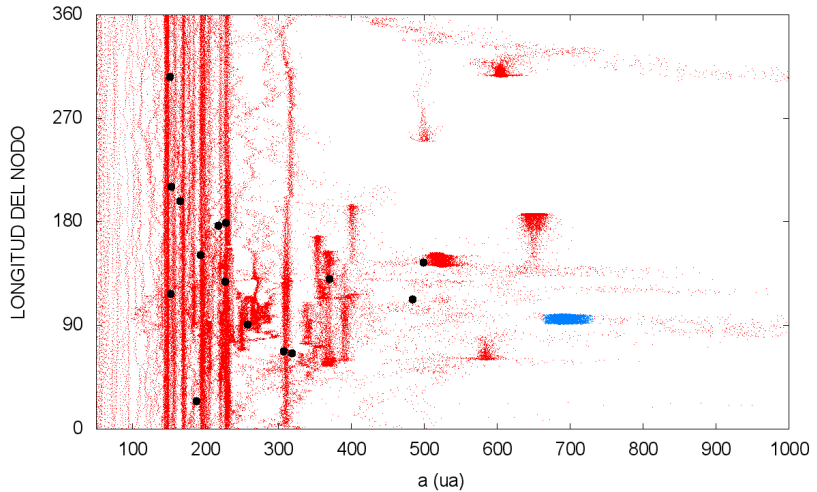
CON PLANETA 9



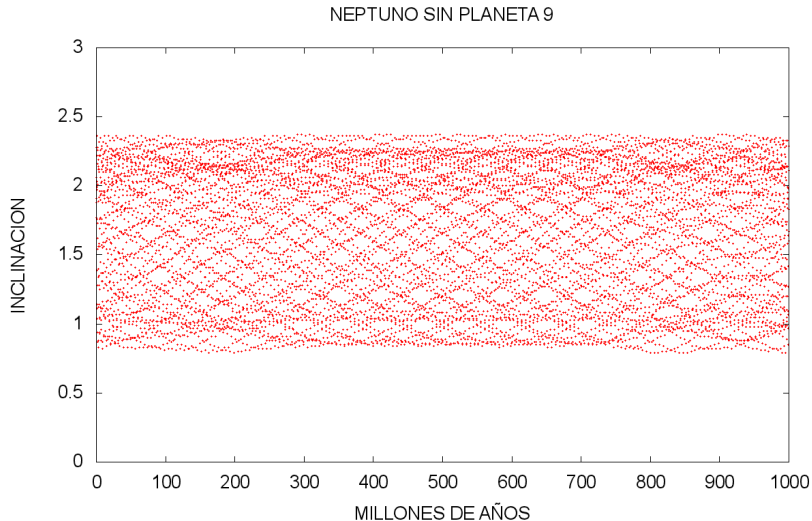
SIN PLANETA 9



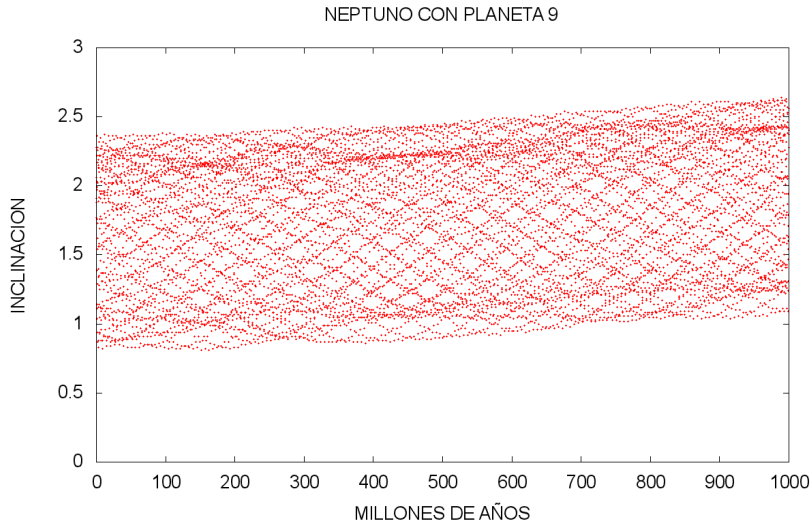
CON PLANETA 9



Neptuno sin planeta 9



Neptuno, aparece un nuevo modo forzado



- ORBE: fácil manejo para estudiar propiedades dinámicas de sistemas planetarios.
- Efectivamente, un planeta 9 explica la concentración de perihelios y nodos.
- Aparecen nuevos modos forzados que hay que investigar mejor.
- Con planeta 9 la vida dinámica de los objetos cae un factor ~ 10 .

Muchas Gracias
y cielos despejados !