

Realizando Simulaciones Orbitales del Sistema Solar en el Aula

Tabaré Gallardo

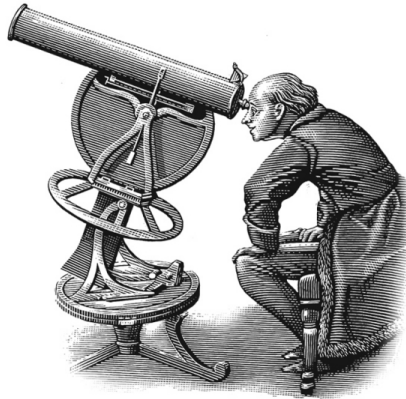
www.fisica.edu.uy/~gallardo

Departamento de Astronomía
Instituto de Física, Facultad de Ciencias (UR)

Encuentro de Profesores de Física
21 de Setiembre 2012, Mercedes.

Resumen

Presentamos el laboratorio (¿virtual?) **SOLEVORB** pensado para que estudiantes de bachillerato y de institutos terciarios realicen prácticas de **evolución orbital** de objetos reales o ficticios en el Sistema **Solar**.

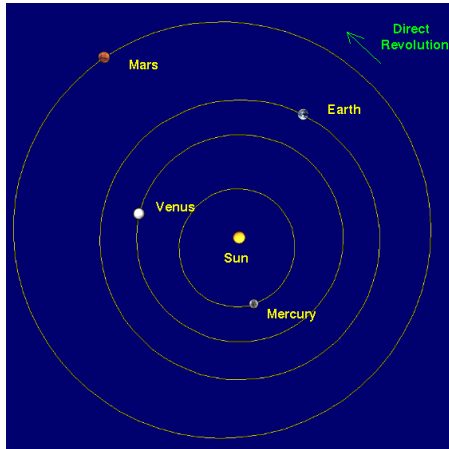


Motivación

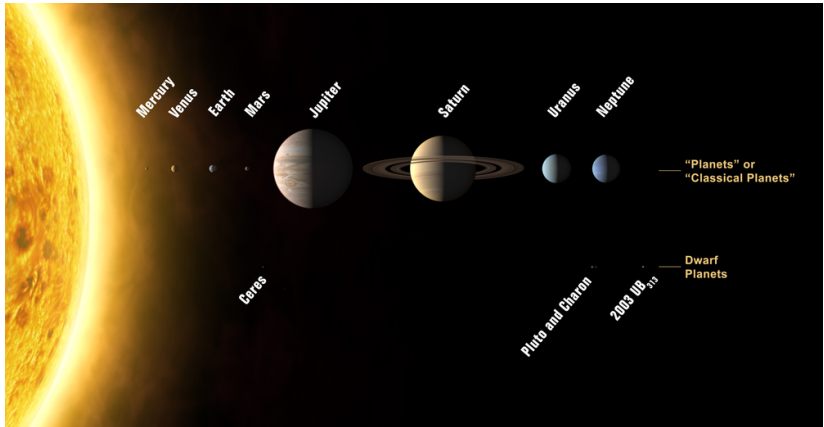
- generar prácticas de laboratorio en **dinámica orbital**
- estimular el manejo y análisis de **volúmenes de datos**
- jerarquizar la **representación gráfica** para comprender procesos
- comprender la importancia de la **modelización** en Física
- aproximarnos a la **metodología** de un trabajo de investigación

Presentación

El Sistema Solar no es estático



(csep10.phys.utk.edu/astr161)



(www.iau.org)

Sistema Solar constituido por:

- Sol (masa = 1)
- Planetas (masa $< 0,001$)
- planeta-enanos y cuerpos menores (masa ~ 0)

Todas las órbitas heliocéntricas son **perturbadas** por los planetas.

¿Cómo evolucionan en el tiempo?

Evolución del Sistema Solar interior:

<http://youtu.be/HKxMTelzcZo>

SOLEVORB permite:

- explorar **evolución de órbitas** heliocéntricas: planetas, cuerpos menores o naves interplanetarias
- hasta **miles de millones de años** hacia el futuro y el pasado
- probabilidad de **colisión** con planetas y Sol
- probabilidad de **eyección** del Sistema Solar
- predicción de **encuentros próximos** entre cuerpos menores y la Tierra o cualquier planeta
- **vida media** orbital de cuerpos menores
- diagnóstico de **caos** o estimación de memoria dinámica

Es un **integrador numérico** que incluye:

- **MODELO** físico: Ley de Gravitación Universal
- plasmado en un sistema de **ECUACIONES** diferenciales para cada cuerpo
- resueltas mediante un **ALGORITMO** optimizado

Tres etapas

- **PREPARACIÓN del experimento:** archivo de datos de entrada `solevorb.ent` (editable con Bloc de Notas o TextPad)
- **EJECUCIÓN:** `solevorb.exe` (con doble clic, y esperar...)
- **ANÁLISIS de resultados:** a través de los archivos generados, especialmente `orbitas.sal` y `encuent.sal` (gráficos con gnuplot)

Datos de entrada

solevorb.ent

solevorb.ent

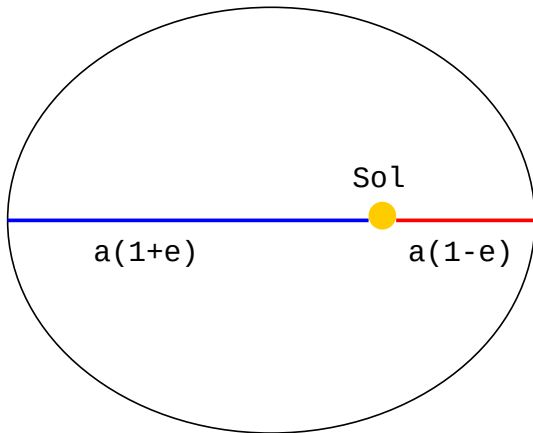
```
***MODELO DE SISTEMA PLANETARIO: 1 (MVTMSUN) o 2 (JSUN)
1
***TIEMPO MAXIMO DE LA SIMULACION EN AÑOS:
10000.0
***INTERVALO DE SALIDA DE DATOS EN AÑOS:
100.0
***NUMERO DE CUERPOS MENORES A INTEGRAR (maximo 492):
10
***JD FECHA JULIANA DE LA EPOCA DE LOS ELEMENTOS ORBITALES:
2449400.5
***Numero identificadorio (entre 10 y 9999) y ELEMENTOS ORBITALES a e i nodo argper anomedia
10 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.384264
11 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.380
12 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.381
13 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.382
14 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.383
15 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.385
16 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.386
17 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.387
18 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.388
19 17.83414429 0.9671429 162.262690 58.420080 111.332485 38.389
```

editable con Bloc de Notas o TextPad

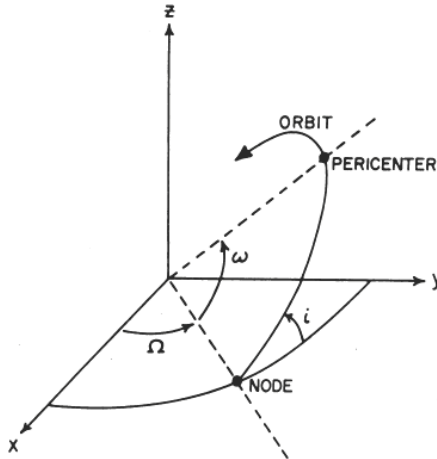
Elementos orbitales: forma

afelio: $Q = a(1 + e)$

perihelio: $q = a(1 - e)$



Elementos orbitales: orientación



(Greenberg 1982)

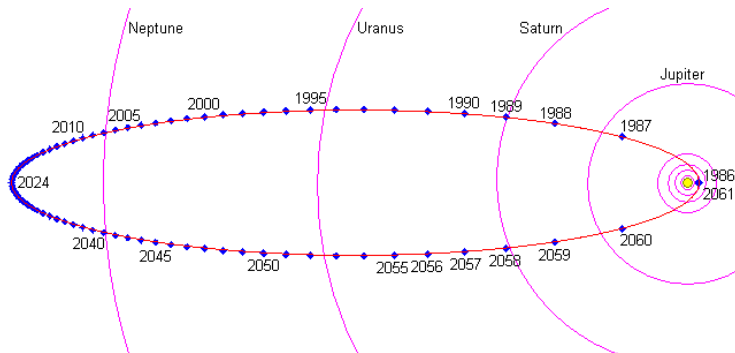
Elementos orbitales: evolución

Buscamos

- $a(t), e(t), i(t), \dots$
- encuentros próximos con los planetas
- eyecciones del sistema
- colisiones con planetas y Sol

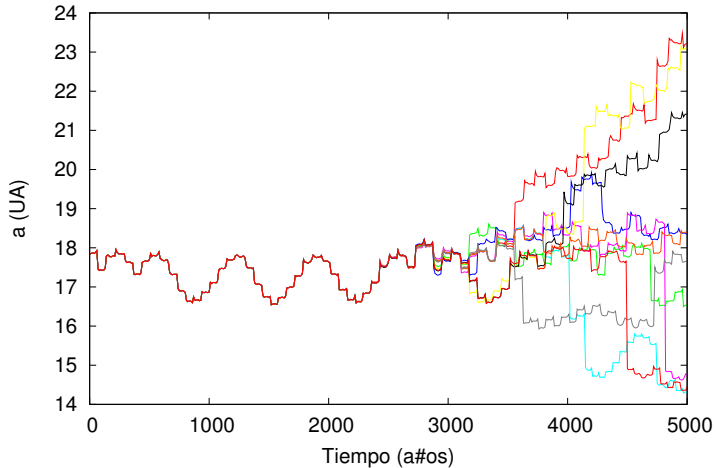
Algunos Proyectos

Cometa Halley: futuro y pasado



(www.uwgb.edu/dutchs)

Halley y clones hacia el futuro



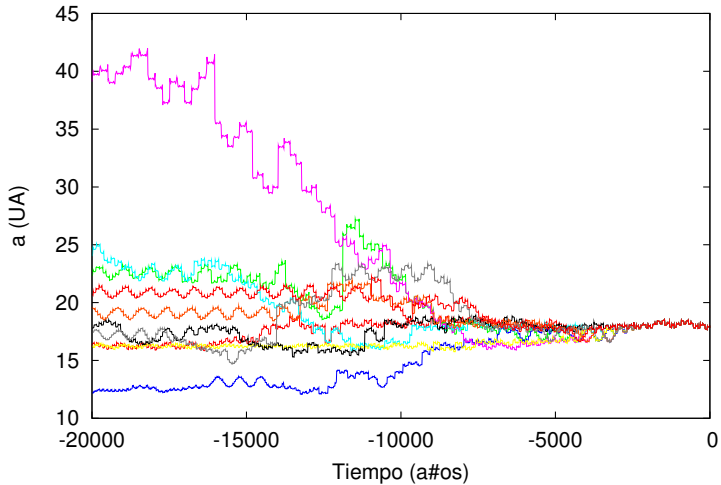
encuent.sal

t	enc	Dm/R	Vp(K/s)	energ	Pla	Par
363.3020	1557.4	26.24	15.2718	5	10	
363.3020	1557.5	26.24	15.2724	5	11	
363.3020	1557.2	26.24	15.2705	5	12	
363.3020	1557.6	26.24	15.2732	5	13	
363.3020	1557.7	26.24	15.2738	5	14	
363.3020	1557.4	26.24	15.2720	5	15	
363.3038	1557.2	26.24	15.2704	5	16	
363.3020	1557.5	26.24	15.2728	5	17	
363.3020	1557.5	26.24	15.2725	5	18	
363.3038	1557.2	26.24	15.2703	5	19	
2724.1907	1335.3	24.29	13.0633	5	12	
2724.2075	1436.3	24.15	12.9225	5	15	
2724.2036	1413.4	24.19	12.9578	5	19	
2724.2164	1496.3	24.07	12.8417	5	11	
2724.2164	1491.6	24.09	12.8555	5	16	
2724.2238	1541.9	24.02	12.7878	5	10	
2878.0248	1381.6	27.35	16.5868	5	15	
2878.0468	1270.7	27.18	16.3712	5	19	
2878.0589	1220.7	27.10	16.2716	5	16	
2878.1440	809.6	26.43	15.4451	5	12	
3174.6566	1009.2	26.84	15.9531	5	15	
3174.8880	760.9	25.03	13.8300	5	11	
3246.0682	784.7	24.92	13.7133	5	12	
3400.1857	394.5	25.69	14.4776	5	12	
3400.2018	432.7	25.56	14.3499	5	13	
3400.4067	1567.8	23.86	12.6174	5	17	
3518.9765	1208.3	24.29	13.0591	5	19	
3519.0150	1450.4	23.99	12.7545	5	16	

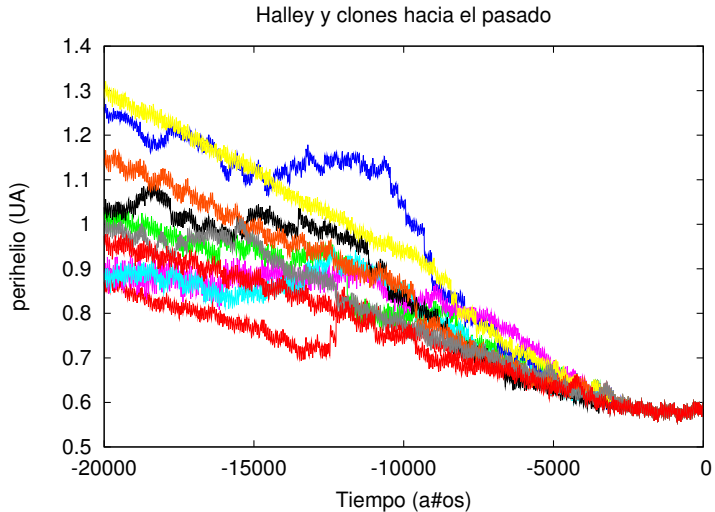
orbitas.sal

t	sobrevivientes						
N	a	e	i	nodo	argper	anomed	
0.000000E+00	18						
1	0.387099	0.205625	7.01	48.34	29.11	38.78	
2	0.723331	0.006813	3.39	76.69	54.74	214.77	
3	0.999984	0.016667	0.00	357.75	105.07	44.00	
4	1.523620	0.093333	1.85	49.58	286.53	335.55	
5	5.202743	0.048346	1.30	100.47	275.22	200.50	
6	9.534561	0.052967	2.49	113.66	339.15	245.35	
7	19.251687	0.046833	0.77	74.05	100.75	113.14	
8	30.173936	0.006231	1.77	131.76	251.61	268.49	
10	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
11	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
12	17.834145	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
13	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
14	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
15	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
16	17.834145	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
17	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
18	17.834144	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
19	17.834145	0.967143	162.26	58.42	111.33	38.38	
1.000000E+01	18						
1	0.387099	0.205622	7.00	48.33	29.14	226.04	
2	0.723322	0.006737	3.39	76.67	54.87	306.45	
3	1.000018	0.016726	0.00	177.21	285.81	43.74	
4	1.523654	0.093522	1.85	49.54	286.51	89.64	
5	5.201985	0.048952	1.30	100.51	274.30	144.82	
6	9.577439	0.057048	2.49	113.63	340.49	6.56	
7	19.129025	0.050148	0.77	73.86	96.03	161.03	
8	29.957874	0.008902	1.77	131.79	297.35	244.70	
10	17.855551	0.967974	162.25	58.80	111.62	86.03	
11	17.855551	0.967974	162.25	58.80	111.62	86.03	
12	17.855552	0.967974	162.25	58.80	111.62	86.03	
13	17.855551	0.967974	162.25	58.80	111.62	86.03	

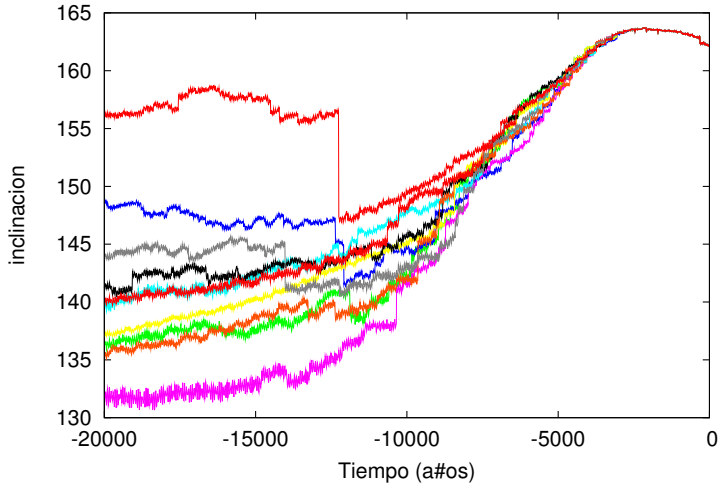
Halley y clones hacia el pasado



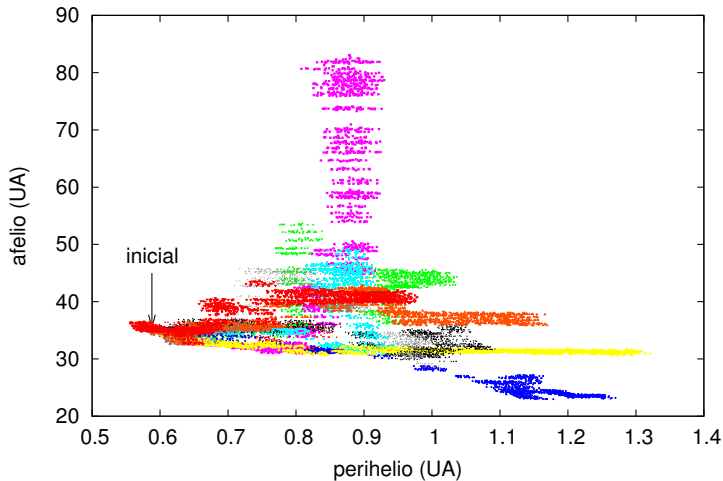
Memoria dinámica ~ 3000 años.



Halley y clones hacia el pasado



Halley y clones hacia el pasado



¿De dónde vienen los meteoritos?



© 2009 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

(Kwok 2009)

¿Cómo llegan hasta la Tierra?



20 meteoroides ficticios con $a \sim 2.08$ UA, $e \sim 0.1$, $i \sim 5^\circ$

solevorb.ent *

***MODELO DE SISTEMA PLANETARIO: 1 (MVTMJ SUN) □ 2 (JSUN)

1

***TIEMPO MAXIMO DE LA SIMULACION EN AÑOS:

10000000.0

***INTERVALO DE SALIDA DE DATOS EN AÑOS:

1000.0

***NUMERO DE CUERPOS MENORES A INTEGRAR:

20

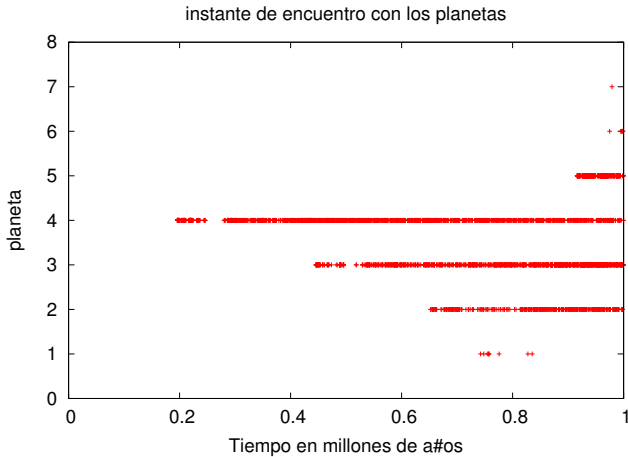
***JD FECHA JULIANA DE LA EPOCA DE LOS ELEMENTOS ORBITALES:

0.0

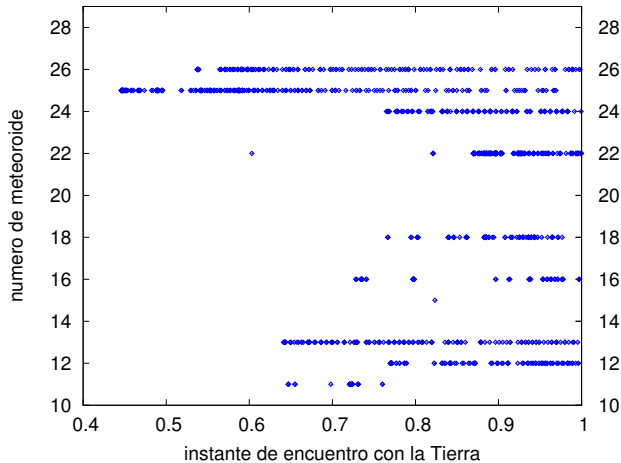
***ELEMENTOS ORBITALES: N a e i nodo argper anomedia

10	2.08205013	0.10088621	5.006427	3.923790	314.051140	10
11	2.08291934	0.10126168	5.009626	3.885964	313.966879	11
12	2.07996204	0.09998518	5.010652	3.873850	314.484644	12
13	2.07787249	0.09907853	5.033679	3.603931	314.345786	13
14	2.07975851	0.09989866	4.983354	4.198791	313.298259	14
15	2.07879941	0.09948046	5.025260	3.702178	314.436685	15
16	2.08279382	0.10121018	4.987397	4.150316	314.333648	16
17	2.07869461	0.09943518	5.001859	3.977919	313.850908	17
18	2.08008606	0.10003761	4.998783	4.014460	313.811791	18
19	2.08213052	0.10092435	4.989783	4.121771	314.401260	19
20	2.07676947	0.09860002	5.031122	3.633712	314.406856	20
21	2.08183951	0.10079530	5.014678	3.826389	314.240845	21
22	2.07856252	0.09937859	5.000770	3.990853	313.724617	22
23	2.07935865	0.09972563	5.002929	3.965226	313.525119	23
24	2.08182398	0.10078897	5.004127	3.951033	313.862204	24
25	2.07967029	0.09985771	5.005288	3.937273	314.240256	25
26	2.08271269	0.10117232	5.002084	3.975254	313.939236	26
27	2.07666078	0.09856274	5.003765	3.955320	313.147332	27
28	2.07733965	0.09884767	5.028817	3.660605	314.193524	28
29	2.07819965	0.09922046	5.010175	3.879481	314.224243	29

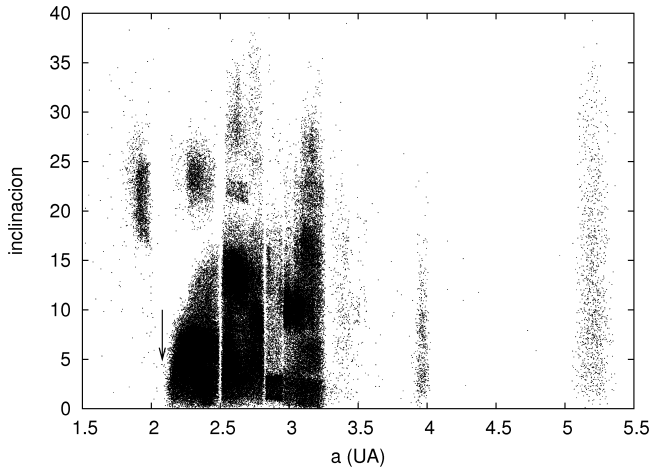
Analizamos el archivo `encuentr.sal`



Encuentros con la Tierra:



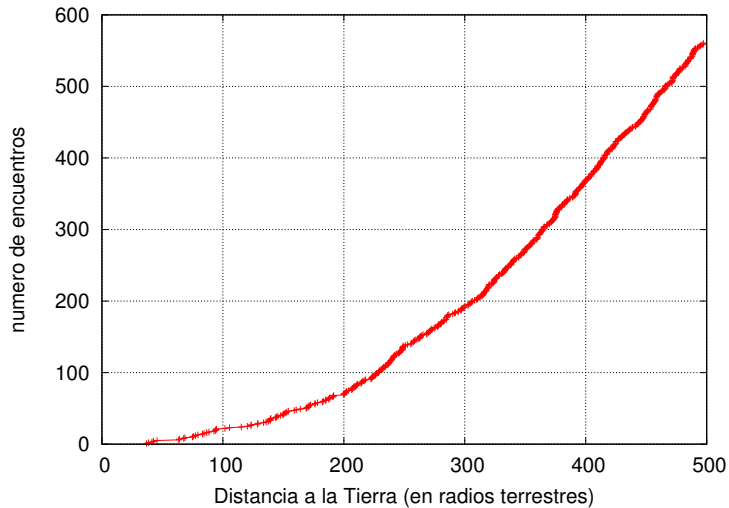
Desde (2.08 UA, 0.1, 5°) el viaje demora ~ 700000 años.



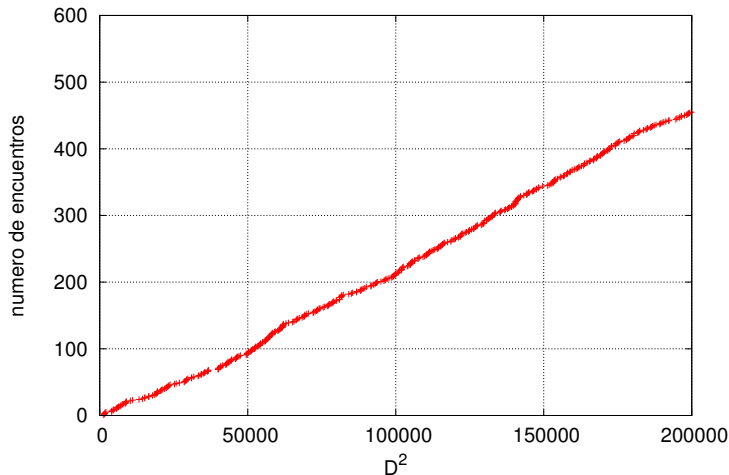
Impactos de PHA con la Tierra



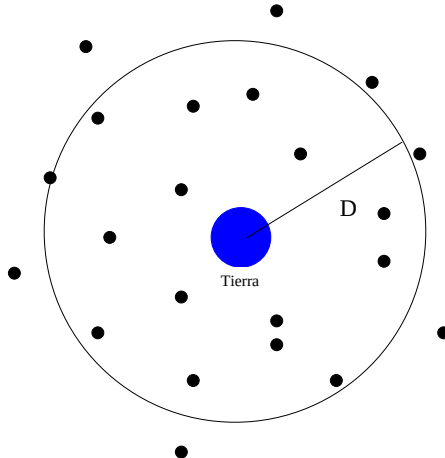
- Se estima que en el presente existen unos 4700 (± 1500) Potentially Hazardous Asteroids con diámetro > 100 metros.
- Tomamos una muestra de 50 y los integramos por 10000 años.
- Del archivo `encuentr_sal` extraemos la información de los encuentros con la Tierra.



$$N \propto D^2$$



$N \propto D^2$, fenómeno análogo a *tiro al blanco sin puntería*:



Regla de tres con D^2 :

$$D^2 = 200000 \longrightarrow N \simeq 450$$

$$D^2 = 1 \text{ (impacto!)} \longrightarrow x$$

$$\implies x = 450/200000 = 0,00225 \text{ impactos}$$

- En 10000 años 'hubo' 0.00225 impactos en la Tierra.
- ¿Cuánto tiempo deberá transcurrir hasta que el número de impactos sea = 1?

0.00225 impactos $\longrightarrow$ 10000 años

1 impacto $\longrightarrow$ x años

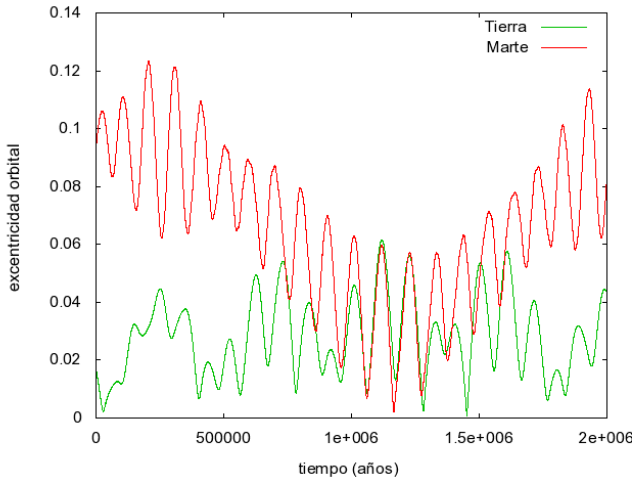
$$x = 10000/0,00225 \simeq 4,4 \text{ millones de años}$$

- En promedio cada 4.4 millones de años uno de estos 50 asteroides impacta a la Tierra.
- Como existen unos 4700 PHA, o sea, 94 veces nuestra muestra, los impactos ocurren cada $4,4/94 = 0,047$ millones de años.
- O sea, en promedio **cada 47000 años impactaría en la Tierra un objeto de diámetro mayor o igual a 100 metros.**

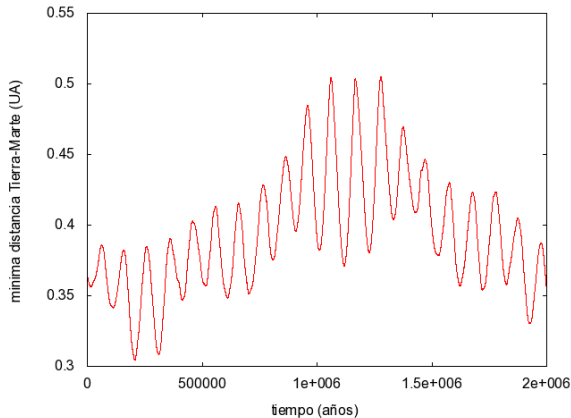
Distancia Tierra - Marte



?

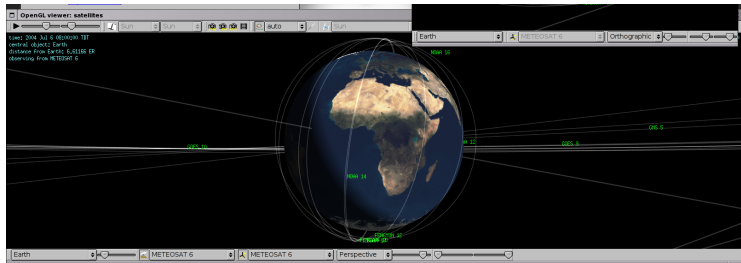


$$d_{min} = \text{perihelio Marte} - \text{afelio Tierra} = a_M(1 - e_M) - a_T(1 + e_T)$$



Recursos

- SOLEVORB: sites.google.com/site/solevorb
- herramientas: gnuplot, TextPad
- ORSA: orsa.sourceforge.net



Laboratorios y simuladores

- Virtual Astronomy Labs (Guidry and Lee)
- Project CLEA (Gettysburg College)
- simulaciones interactivas PhET



Over 75 million simulations delivered

PhET

Interactive Simulations
UNIVERSITY OF COLORADO AT BOULDER

¡Muchas Gracias!