Baricentro

GGA,jubilado
UNAM

August 26, 2020

Abstract

Del porqué no hay que dejar la educación en manos de Televisa.

Part I

El centro del sistema solar no es el sol, ni el foco de la elipse de la órbita de algún plane- ta, la matemática asegura es. . .

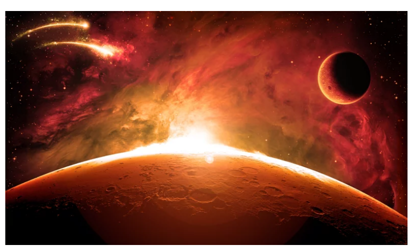


Fig.1. aphelleon /shutterstock.com

1 Solución de problemas geométricos con ayuda del centro de masa (centro de gravedad, o baricentro) con la matemática de hace 1300 años.

La idea de *centro de masa* (*centro de gravedad*) fue introducido, por el que segura mente fue el más grande matemático del mundo antigüo, el geometra griego *Arquími- des* (287 − 212 a.n.e.) El descubrió que con ayuda de este concepto, mediante el ima- ginar una balanza e imaginar también una suspensión de masas en diferentes pun- tos de figuras geométricas, es posible resolver muy diversos problemas geométricos puros. Por ejemplo, se podía calcular el volumen de una esfera y demostrar el teore- ma de que las tres medianas de un triángulo se intersecan en un punto.

Qué fue lo que escribio acerca de este método *Arquímides* a otro gran geómetra de su época *Eratóstenes*: "Consideré adecuado exponerte un método peculiar, graci- as al cual se obtiene una herramienta para investigar ciertos problemas matemáticos con ayuda de la mecánica. Este procedimiento, con mi más profundo convencimiento, es muy conveniente para resolver proposiciones geométricas; muchas cosas por pri- mera vez resultaron para mi nítidamente claras gracias al método mecánico… Tengo la convicción de que muchos de mis contemporáneos y sucesores al conocer este mé todo estarán en disposición de encontrar nuevos teoremas…" [1].

Fig.? Arquímides de Syracusa. Fig.?A. Eratóstenes.

En efecto, en lo sucesivo hubo matemáticos que recurrieron a razonamientos me- cánicos para solucionar problemas geométricos. En particular, el astrónomo y mate- mático jesuita sueco de origen judio *Paul Guldin* (1577-1643) le dedicó a este método el libro en latin *'De centro gravitatis'* (1635) ("Centrobárica" un estudio sobre el centro de gravedad), donde aplica los razonamientos mecánicos al cálculo de superficies y volumenes de distintos cuerpos [2].

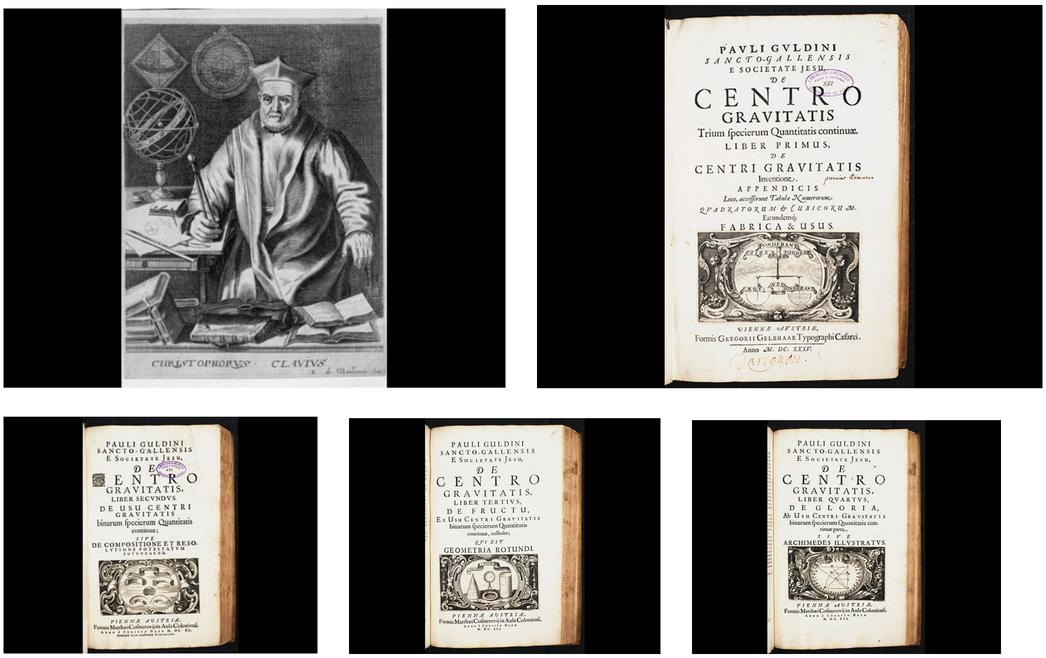
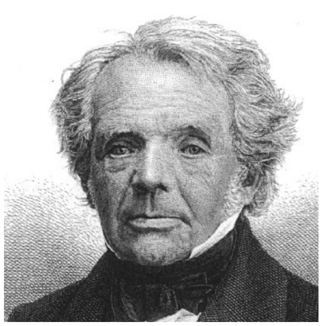


Fig.?. Falsa imagen que con frecuencia se presenta como la de *Paul Guldin* y los 4 tomos de su '*De centro gravitatis*' ((1635) 'Centrobárica'[2])

Los hubo, quienes con éxito atrajeron el concepto de centro de masa en la bus- queda de *lugares geométricos* de puntos. Así se llega al famoso matemático y astróno mo aleman *August Möbius* (1790-1868), pionero de la topología y descubridor de la superficie no orientable, ahora conocida como *Cinta de Möbius*. Fue uno de los ayu- dantes de Gauss y escribió el libro *"Cálculo baricéntrico"* (1827 [3]) pudiendo construir todo un apartado de la geometría, la llamada *geometría proyectiva*, con base en el concepto de centro de gravedad.



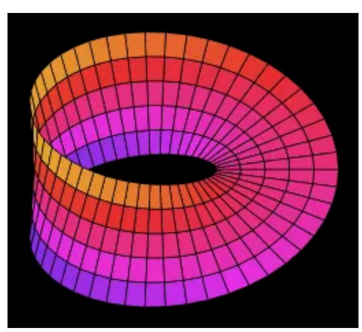


Fig.?. A. Möbius y su cinta.

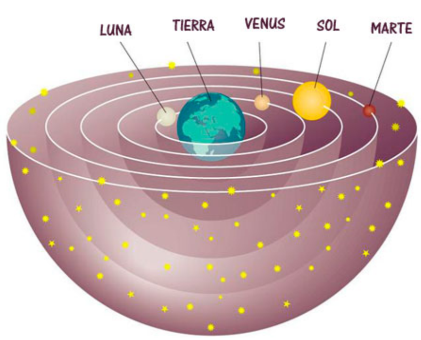
A manera de anecdotario puede decirse que con base en ese mismo concepto de centro de masa se creo el cálculo vectorial, la demostración de desigualdades, etc.y ahora para variar también el *centro del sistema solar*.

2 El centro del sistema solar (Aristóteles,Ptoloméo, Co- pérnico).

El científico espacial *James O'Donoghue* compartió animaciones que muestran (más no demuestran) fehacientemente que el *Sol* no es el verdadero *centro del siste- ma solar*. Se puede hacer hincapié en que el modelo del sistema solar prevaleciente es el modelo *heliocéntrico* de *Copérnico* [4] (antecesor *Aristarco*), que causó toda una revolución en el siglo XVI, cuando lo propuso como sustitución del modelo de *Ptolo- méo* [5], el cual prevalecía desde el siglo II como el modelo *geocéntrico* utilizado por astrónomos y pensadores religiosos (con pequeñas modificaciones al de *Aristóteles* [6]).

Fig.?. Copérnico, Ptoloméo, Aristóteles.

Actualmente el modelo de Copérnico, no sólo es el más conocido, estudiado y re- producido en todo el mundo, sino enseñado desde la educación preescolar.



Primera visión del sistema solar.

Dos visiones del mundo (biblioteca central CU-México)

Fig.?. En el siglo XVI, Nicolás Copérnico revoluciona la visión del mundo que se tenía en ese entonces con el mo- delo del Universo en el que el Sol (y no La Tierra) estaba en el centro del mismo. Si se mira el suelo que se pisa, eso parece: LaTierra fija y los demás planetas girando a su alrededor. El principal defensor de estas teorías fue el filósofo griego Aristóteles (siglo IV a.C.), quien se apoyaba en razonamientos provenientes de la observación direc- ta de la naturaleza.

En el modelo popular actual de *Copérnico*, los planetas del sistema orbitan alrede dor de la estrella más grande de todos éllos: el *Sol*. Y por lo tanto, esa estrella es el centro del sistema solar. Es correcto que los planetas giran alrededor del *Sol*; sin em- bargo, el *Sol* no es el centro gravitacional del universo e incluso la estrella también tie ne su propia órbita esas son las conclusiones de *O'Donoghue J.* de la Agencia Japo- nesa de Exploración Espacial (JAXA).

Para fundamentar este acerto, se propondría de hecho regresar a la idea original de *Arquímides*, esto es concebir al *Sol* y a los planetas como *puntos materiales*, o sea...; pero mejor aún primero seguiremos la descripción del artículo del divulgador de la ciencia *Alejandro I. López* [4] y los argumentos del astrónomo *O'Donoghue* [5]

Afirma que el *centro real* del sistema solar es un punto llamado *baricentro*, en don de se concentra la masa de dos o más objetos orbitantes y no es un punto fijo en el universo. La posición del *baricentro* depende de la ubicación de los planetas y sus ór- bitas. A su vez, estas dependen de la fuerza gravitacional del Sol. El *Sol* también orbi ta ese *baricentro móvil*, por lo que el centro del sistema solar a veces puede estar cer ca del centro de la estrella o fuera de su superficie.

Para su demostración[1], el científico planetario *James O'Donoghue*, de la Agencia Japonesa de Exploración Espacial (JAXA), compartió un vidéo en su cuenta de Twitter para explicar el movimiento del Sol respecto al baricentro (y ese vidéo es la evidencia de que *'lo demuestra'*).

El sistema solar no tiene un baricentro único, pues los baricentros se forman con la masa de varios objetos. *O'Donoghue* también compartió otros ejemplos de baricen- tros, como el de la Luna y la Tierra, para aclarar el concepto.

De acuerdo con el científico, el centro de masa común entre la Tierra y la Luna siempre está debajo de la superficie del planeta[2] debido a la influencia gravi- tacional de la Luna.lllllllllllllll

El concepto de los *baricentros* es más complejo que el de las *órbitas planetarias* [3]; sin embargo, conocerlos y estudiarlos es útil para comprender el comporta- miento del sistema solar y del universo.

[1] La afirmación del autor *Alejandro I. López* del artículo de *"Muy interesante"* acerca de que *James O'Donoghue*, de la JAXA *demuestra* que el centro del sistema solar no es el centro del Sol, sino su *baricentro* es corecta. Lo que es incorrecto es afirmar que *O'Donoghue* lo demuestra Y la evidencia que exhibe es un video, donde muestra la motivación y *muestra* (más *no demuestra*) que el centro del sistema solar no reside en el Sol, sino en el *baricentro* del sistema solar.

[2] Eso no lo dice *O'Donoghue* sino el autor del artículo de *"Muy interesante"*, lo cual es totalmente incorrecto.

[3] Otro error: los *baricentros* no son comparables con las *órbitas planetarias*.

2.1 Centro de masa, o Centro de gravedad o Baricentro.

¿Qué es un baricentro?

Decimos que los planetas orbitan estrellas, pero eso no es toda la verdad. Los planetas y las estrellas orbitan alrededor de su centro de masa común. Este centro de masa o centro de gravedad se llama *baricentro*. Los baricentros también ayudan a los astrónomos a buscar planetas más allá de nuestro sistema solar.

¿Qué es un *centro de masa*?

Cada objeto tiene un *centro de masa*. Es el centro exacto de todo el material del que está hecho el objeto. El centro de masa de un objeto es el punto en que el obje to se puede *equilibrar*.

A veces, el centro de masa está situado directamente en el centro del objeto, co- mo en el caso de una regla, equilibrándola con la punta de un dedo. Ese es el centro de masa o centro de gravedad o baricentro de una regla.

Fig.?. Centro de gravedad de la regla.

Pero a veces el centro de masa no está en el centro del objeto, como en el caso de un martillo, que tiene la mayor parte de su masa en uno de sus extremos, por ello que su centro de masa está mucho más cerca del extremo pesado.

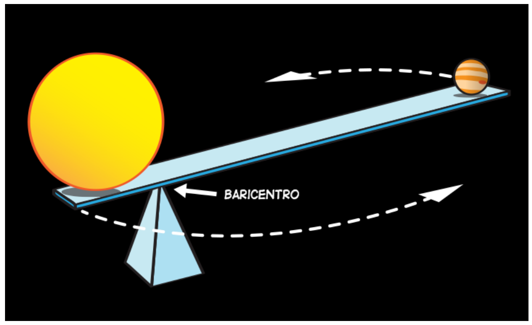
Fig.?. Centro de gravedad del martillo.

En el espacio, dos o más objetos que orbitan entre sí también tienen un centro de masa en el punto alrededor del cual los objetos giran. Ese punto es el baricentro de los objetos. El baricentro suele estar más cerca del objeto con mayor masa.

Fig.?. Se muestra que el baricentro está más cerca del objeto con mayor masa.

2.2 Baricentros en el sistema solar.

¿Dónde está el *baricentro* entre *La Tierra* y el *Sol*? Dado, que el *Sol* tiene mucha más masa que *La Tierra*, significa que el Sol es como la cabeza del martillo. Por lo tanto, su baricentro estará más cerca del centro del *Sol* (véase Simulador de Órbitas con baricentro en el Apéndice1).



Júpiter es mucho más grande que la Tierra. Tiene como 318 veces más masa. Co- mo resultado, el baricentro de Júpiter y el Sol no está en el centro del Sol. En reali- dad, está fuera de la superficie del Sol!: (Apéndice1)

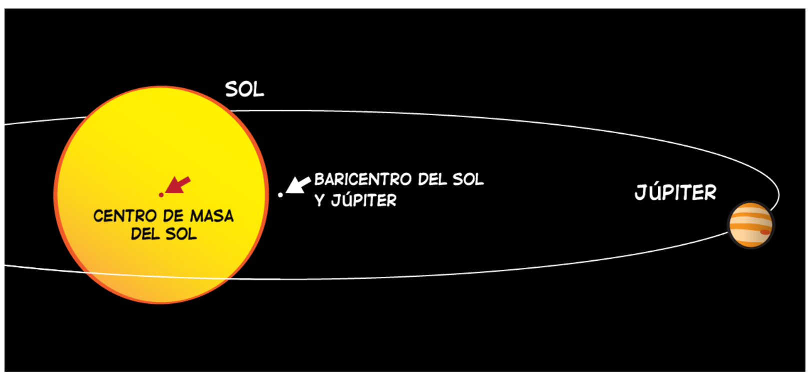


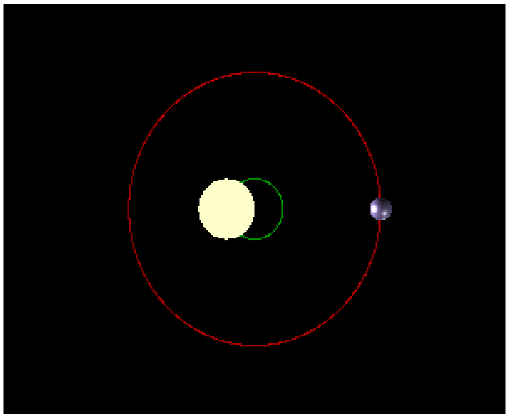
Fig.?. Una ilustración que muestra el baricentro del sol y Júpiter versus el centro de masa del sol.

Nuestro sistema solar también tiene un *baricentro.* El *Sol*, la *Tierra* y todos los de- más planetas del sistema solar orbitan alrededor de este baricentro. Es el centro de masa de todos los objetos en el sistema solar combinados.

El baricentro de nuestro sistema solar cambia constantemente de posición. Su po- sición depende de dónde están los planetas en sus órbitas (esta es una *descripción* de lo que ocurre, pero *no* es la guía para su *demostraciòn*). El *baricentro* del sistema solar puede estar *cerca del centro del Sol* o *fuera* de la superficie del *Sol.* Al orbitar el *Sol* este *baricentro móvil*, se tambalea (observado en las simulaciones).

2.3 ¿Cómo ayudan los baricentros a encontrar otros planetas?

Si una *estrella* tiene *planetas*, la estrella orbita alrededor de un baricentro que es- tá fuera del centro de la estrella. Esto hace que parezca que la estrella bamboletéa:



Animación que muestra la estrella del planeta en órbita 'desde arriba', con la estrella tambaleándose.

Aquí un planeta grande y una estrella aún más grande orbitan alrededor de su *centro compartido de masa* (o *centro compartido de gravedad*, o *baricentro*), visualiza- dos 'desde arriba'.

falta

Fig.?. Animación que muestra el planeta en órbita alrededor de la estrella lateralmente, con la estrella moviéndose de un lado para el otro.

En esta nueva animación, un planeta grande y una estrella aún más grande orbi- tan su centro compartido de masa, o baricentro, vistos lateralmente. El baricentro se encuentra ligeramente descentrado es lo que hace que la estrella oscile hacia adelan te y hacia atrás.

Los planetas que giran alrededor de otras estrellas, los llamados *exoplanetas*, son muy difíciles de ver directamente. Están ocultos por el resplandor brillante de las es- trellas alrededor de las que orbitan. Detectar el bamboletéo de una estrella es una manera de averiguar si hay planetas que orbitan a su alrededor. Los astrónomos han detectado muchos planetas que se encuentran alrededor de otras estrellas al estudi- ar sus baricentros, además de usar *otras varias técnicas*.

2.4 Intentando formalizar el proceso decrito.

Ahora si regresando al apartado donde se quería fundamentar lo que muestra en sus animaciones fruto de sus simulaciones *O'Donoghue* [4], pero que no demuestra sus propias conclusiones.

Desde mi punto de vista y para justipreciar las dificultades de todo lo afirmado se tendría que empezar con el análisis en un instante fijo del proceso y analizar el siste- ma solar como si los planetas estuvieran fijos y posteriormente analizar el sistema en su dinámica propia.

·Para empezar se propone iniciar regresando a la idea original de *Arquímides*, esto es concebir al *sol* y a los *planetas* como *puntos materiales*, es decir como parejas or- denadas de puntos (geométricos) que serán denotados con letras mayusculas tipo A, suministrados de masas que denotaremos con m, por ello un *punto material* quedaría representado por la pareja (A, m), donde esta representa al punto (geométrico) A con su masa asociada m.

Y éste sería el formalismo inicial a ser usado en lo sucesivo, más aún el *punto ma- terial* podría denotarse como $\mathbf{A} \overset{not}{\equiv} (A, m)$, donde la $\mathbf{A}$ (negrita) representa a la pareja del punto material (A, m).

Desde el punto de vista matemático el punto material $\mathbf{A} \overset{def}{\equiv} (A, m)$ es la pareja for- mada por el punto (geométrico) A y cierta masa asociada denotada por el número (no negativo) m. Para empezar supóngase que se tiene dos puntos materiales $\mathbf{A}$ y $\mathbf{B}$.

$\cdot\mathbf{A} - - - - - - - - \cdot\mathbf{B}$
$(A, m_1) \cdot - - - - - - - - (B, m_2) \cdot$

Fig.?. Dos puntos materiales: $\mathbf{A} \equiv (A, m_1)$ y $\mathbf{B} \equiv (B, m_2)$ y la recta que los une, en sus dos notaciones.

Por *baricentro* (o *centro de gravedad* o *centro de masa*) de dos *puntos materiales* $\mathbf{A}$ y $\mathbf{B}$ ($\mathbf{A} \equiv (A, m_1)$ y $\mathbf{B} \equiv (B, m_2)$) se entenderá al punto material $\mathbf{C}$ perteneciente al seg- mento AB y que satisface la llamada "*Ley de la palanca*", a saber: el producto de su distancia (brazo) a uno de esos puntos geométricos (A) por la masa adjunta a ese punto (geométrico) m_1 es igual al producto de su distancia al segundo de los puntos (B) por la masa asociada a dicho segundo punto m_2, o en símbolos: $m_1 \cdot dist\,(A, C) = m_2 \cdot dist\,(C, B)$,esto es:

$$m_1 \cdot AC = m_2 \cdot CB.$$

El sentido físico del *punto baricéntrico* $\mathbf{C}$ es de lo más inmediato: supóngase que AB representa una varilla ideal rígida imponderable ('*sin peso*') en cuyos extremos se colocan las masas m_1 y m_2 (lo de '*imponderable*' de la varilla es en el sentido de que su masa comparada con las masas m_1 y m_2 es tan pequeña que es despreciable), en- tonces C es aquel punto, en el cual hay que apoyar la varilla AB para que se logre su *equilibrio*.

Fig.?. Móvil decorativo. Equilibrio imposible del arte pop (Calder)

Si en el baricentro C de dos puntos materiales (A, m_1), y (B, m_2) se sitúan las ma- sas de ambos puntos materiales, entonces de nuevo se forma un punto material $\mathbf{C} \equiv (C, m_1 + m_2)$, llamado el *centro material* (o *unión*) de esos 2 puntos materiales dados:

$$\cdot\mathbf{A} - - - - - - - - \underset{\triangle}{\cdot}\mathbf{C} - - - \cdot\mathbf{B}$$

Fig.?. Dos puntos materiales $\mathbf{A} \equiv (A, m_1)$, $\mathbf{B} \equiv (B, m_2)$, y su baricentro $\mathbf{C} \equiv (C, m_1 + m_2)$

Es fácil de entender, que entre más 'masivo' sea uno de los puntos materiales con respecto al otro, el *baricentro* estará más cercano al de mayor masa de ambos (ilus- trando así el caso de *La Tierra* y la *Luna*)

·Casi como si fuera por inducción para cualquier número de puntos materiales n, si se tiene un sistema de *muchos puntos materiales* como es el caso del sistema so- lar: (A_1, m_1), (A_2, m_2), $\ldots$, (A_n, m_n), se puede construir un cierto punto (geométrico) C_n del baricentro del sistema de n puntos materiales, de la siguiente manera:

·Primero se construye el *centro material* en C_2 sitúando las masas de ambos pun- tos materiales (A_1, m_1) y (A_2, m_2) en dicho punto geométrico C_2, entonces de nuevo se forma un punto material con los puntos materiales (A_1, m_1) y (A_2, m_2) que lo hemos de notado como $(C_2, m_1 + m_2)$.

·Luego se forma el *centro material* $(C_3, m_1 + m_2 + m_3)$ con los dos puntos materia- les $(C_2, m_1 + m_2)$, y (A_3, m_3); y

·Enseguida el *centro material* $(C_4, m_1 + m_2 + m_3 + m_4)$ con los 2 puntos materiales $(C_3, m_1 + m_2 + m_3)$, y $(A_4,\ m_4)$; y así sucesivamente hasta agotar todos los puntos ma- teriales dados del sistema.

·Esto es, hasta que como resultado se obtenga cierto *cen- tro material* (punto material) $(C_n, m_1 + m_2 + \ldots + m_n)$ formado a partir de los dos puntos $(C_{n-1}, m_1 + m_2 + \ldots + m_{n-1})$, y (A_n, m_n) que se llamaría el *centro material* de todo el sistema dado de pun- tos materiales (A_1, m_1), (A_2, m_2), …, (A_n, m_n) y al punto (geométrico) C_n se le llamaría *baricentro* o *centro de masa*, o *centro de gravedad* del sistema dado.

2.5 Empiezan las dificultades, no mencionadas en el artículo.

Hasta aquí todo perfecto, pero todo es *estático* y se desearía adjuntarle una *diná- mica*, puesto que los *planetas* y la *estrella* el *Sol* tienen sus órbitas que recorren a lo largo del tiempo t.

Actuando de la manera más ingenua posible se podría generalizar concibiendo a los puntos (geométricos) A_1, A_2, ...,A_n como no fijos, sino que dependan del tiempo t, esto es como funciones del tiempo t: $A_1(t)$, $A_2(t)$, ...,$A_n(t)$, pero entonces aquí empe- zarían los tropiezos, puesto que para sólo tres puntos materiales ya aparecería el clá- sico *problema de los tres cuerpos* (Éste problema consiste en determinar, en cualqui- er instante del tiempo t, las posiciones A_i y las velocidades $\dot{A}_i$ de los tres cuerpos, de cualquier masa m_i, sometidos a la atracción gravitacional mutua y partiendo de unas condiciones iniciales, o posiciones y velocidades dadas)

Esto a su vez, remitiría a los inicios del siglo *XX* y al nacimiento de la Teoría del *Caos físico*, con *Poicarè* [5?] a la cabeza, ya que en esos entonces era conocida la so lución del *problema de dos cuerpos* mediante el método de cuadraturas integrales, pe ro nunca se pudo obtener la solución general del *problema de los tres cuerpos* con e- se método y en algunos casos su solución llevaba a comportamientos *caóticos*, en e- se mismo sentido físico del término, lo cual significa que a pequeñas perturbaciones de sus condiciones iniciales las soluciones se podían disparar drásticamente (el famo so *efecto mariposa* que aparecería 3/4 partes de un siglo después con *Mandelbrot* [6]).

En resumen, el problema de los n (con $n \geq 3$) no puede resolverse con el método de cuadraturas integrales o integrales de movimiento o primeras integrales. Así lo de- mostró el mismo *Poincarè* [?], no existe una fórmula que lo rija. Esto significa que de las 18 integrales de movimiento sólo 10 se resuelven con leyes de conservación.

Además de estas 10 integrales no existe ninguna otra algebraicamente independiente con esas 10. Sin embargo eso no implica que no pueda existir una solución ge- neral del *problema de los tres cuerpos*, aunque las busquedas de nuevas integrales hasta ahora ha sido en forma de *series*. De hecho, *Sudman* en 1909 proporcionó una solución mediante una serie convergente.

Después de todo este recuento, el problema de los tres cuerpos no surge como un problema puramente especulativo, dado que el sistema La Tierra-Luna-Sol resulta ser un caso muy próximo al clásico problema de los tres cuerpos. Por eso no es raro constatar que *Delauney CE* [7] realizó un estudio en 1860-67 en dos grandes volúme- nes y ahí ya aparece atisbos del *Caos físico* y aplica la Teoría de perturbaciones al pretender resolverlo como un problema de dos cuerpos y con siderar que el tercero (la Luna) perturba la posición de los otros dos.

Se trata 'movimientos caóticos', que en términos más actuales tendrá que esperar a ser abordado hasta 1949 cuando el gran matemático uruguayo *José Luis Massera* lo caracterizó en términos de las funciones de Lyapunov.

Regresando a *Pierre Simon Laplace* [9] en su *'Traité de Mécanique Céleste'* (1776) donde reivindica su *Principio Deterministico* al afirmar que si se conociera la posición y la velocidad de todas las partículas del universo en un instante dado se podría pre- decir su pasado y futuro. Este Principio de determinismo Laplaciano prevalecio por más de 100 años. Pero a finales de siglo XIX irrumpe el matemático *Poincarè* plante- ando su nuevo enfoque al preguntarse si el sistema solar era estable por siempre.

Por ello es que *Poincarè* fue el primero en pensar en la posibilidad del *caos físico* en el sentido de comportamientos de alta sensibilidad respecto de las condiciones ini- ciales. Así es como reivindica el *azar* y lo *aleatorio*, postulando que el *azar* no es sino la medida de la ignorancia del humano y a la vez reconociendo la existencia de fenó- menos que no eran completamente *aleatorios*, pero que no correspondian a una diná mica *lineal*, aquellos en los que ante pequeñas perturbaciones de las condiciones ini- ciales se obtenían enormes cambios en los resultados, la dinámica de lo *no lineal*.

Así comenzó la busqueda de las leyes que gobiernan el *clima*; la *sangre* fluyendo por el corazón; la *turbulencia*; las *epidemias*; las *bolsas de valores*; el *problema de los tres cuerpos restringido*, donde la masa de uno de los cuerpos es despreciable; el *pro blema de los tres cuerpos restringido circular* bajo la restricción de de que dos de los cuerpos están en órbitas circulares (que se aproxima al sistema *Sol-Tierra-Luna*); cuando el cuerpo de masa despreciable es un satélite. La esfera de *Hill*. El lóbulo de *Roche*. Los puntos de *Lagrange* y un largo etcétera.

Todo esto quedo obviado en el artículo de Alejandro I. López y ¡como si nada!

Cuidado con el divulgador científico *Alejandro I. López?*.Cuidado con la revista *'Muy Interesante'*. Cuidado con *Televisa*. Cuidado con dejar la educación pública en manos privadas.

Fig.?. vadim.sadovski/shutterstock

3 REFERENCIAS.

References

[1] *El Método*; Funes, Repositorio digital de documentos en educación matemática; Universidad de los andes, Colombia.

[2] *Paul Guldin*; De centro gravitatis, 4 tomos (1635), History of Science Collec- tion (1635-41); Linda Hall Library.

[3] *August Möbius*; Der barycentrische Calkul (The Calculus of Centres of Gravity); 1827.

[4] *Nicolas Copérnico*; De revolutionibus orbium coelestium (Sobre las revoluciones de las esferas celestes), Edit. Johannes Petrius,Núremberg Sacro Imperio Romano Germánico, 1543.

[5] *Claudio Ptoloméo*; Almagesto, s. II.

[6] *Aristóteles*;

[7] *James O'Donoghue; Simulación presentada en su cuenta de Twiter.*

[8] *Mandelbrot*

[9] *Hanri Poincaré*;

[10] *xxx Sundman*; 1909

[11] *Pierre Simon Laplace*; *Traité de Mécanique Céleste;* (1776)

[12] http://orbitsimulator.com/gravity/articles/ssbarycenter.html (visto 24-08-20)

4

.1 El primer Apéndice.

http://orbitsimulator.com/gravity/articles/ssbarycenter.html

.2 ¿Qué es 'Gravity Simulator'?

Los astrónomos profesionales tienen muchas herramientas a su disposición. Podría pensarse, a un astrónomo como alguien que se la pasa detrás del ocular de un telescopio grande, sin embargo los hay que se la pasan más tiempo frente a una com putadora. Usando computadoras, los astrónomos pueden modelar, estudiar y obser- var el universo de formas que no son posibles con un telescopio. Los astrónomos afi- cionados, sin embargo, a menudo se limitan a observar solo con telescopios.

'Gravity Simulator' proporciona a los astrónomos aficionados una poderosa herra- mienta de integración numérica. Al realizar simulaciones de n cuerpos, puede estudi- ar las órbitas de planetas, lunas, asteroides o cualquier objeto del universo. Puede re crear simulaciones realizadas por astrónomos profesionales o experimentar con simu- laciones de su propia factura.

Con la función de marco giratorio de Gravity Simulator, se puede estudiar con fáci- lidad la compleja relación orbital entre las diversas lunas de Saturno, o la relación en- tre la órbita de la Tierra y la órbita en herradura de *Cruithne*, un asteroide a menu do denominado *"la segunda luna de la Tierra"*.

Puede ejecutar las numerosas simulaciones que vienen con Gravity Simulator y o- tras adicionales disponibles en este sitio web. Una vez que se sienta cómodo con las simulaciones existentes, probablemente desee crear algunas propias.

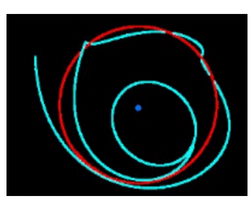
Gravity Simulator permite estudiar el universo de una forma completamente nueva

Para disfrutar... hay dos versiones de este programa. La versión original es solo para Windows. Basta con un toque en el enlace de descarga para descargar el archi- vo de instalación. La última versión se ejecuta en su navegador web, por lo que se e- jecutará en cualquier plataforma. No requiere Java ni Flash. Haga clic **aquí** para obte- ner la versión del navegador.

Nuevo

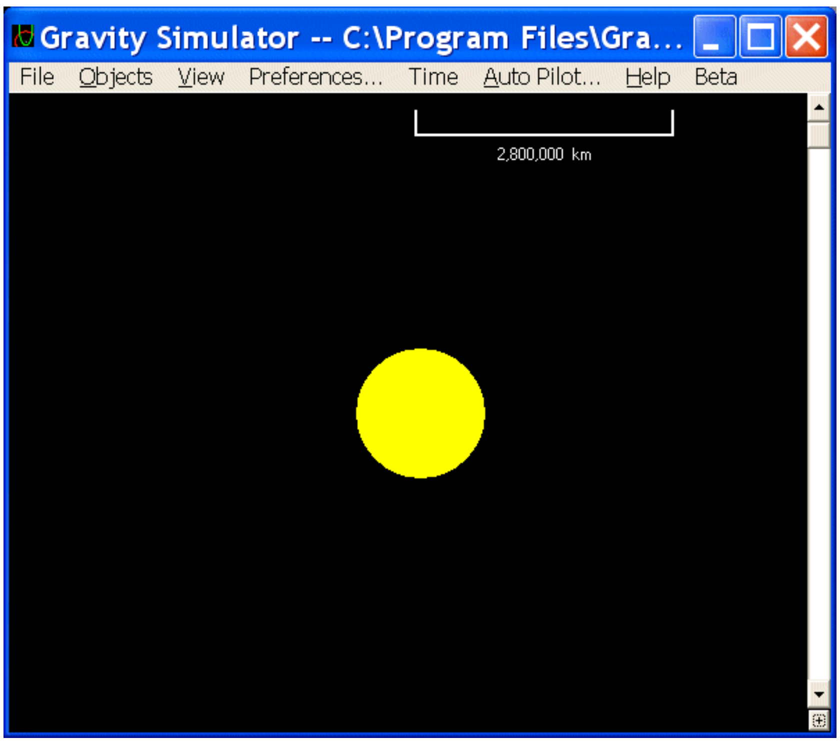
Durante su vida, las constelaciones no cambiarán. ¡Pero durante largos períodos de tiempo, lo hacen! El movimiento propio simulador le permitirá ver todos los cambi- os de la constelación con el tiempo. ¡Incluso te permitirá volar a través de las conste- laciones!

.3 El baricentro del sistema solar.

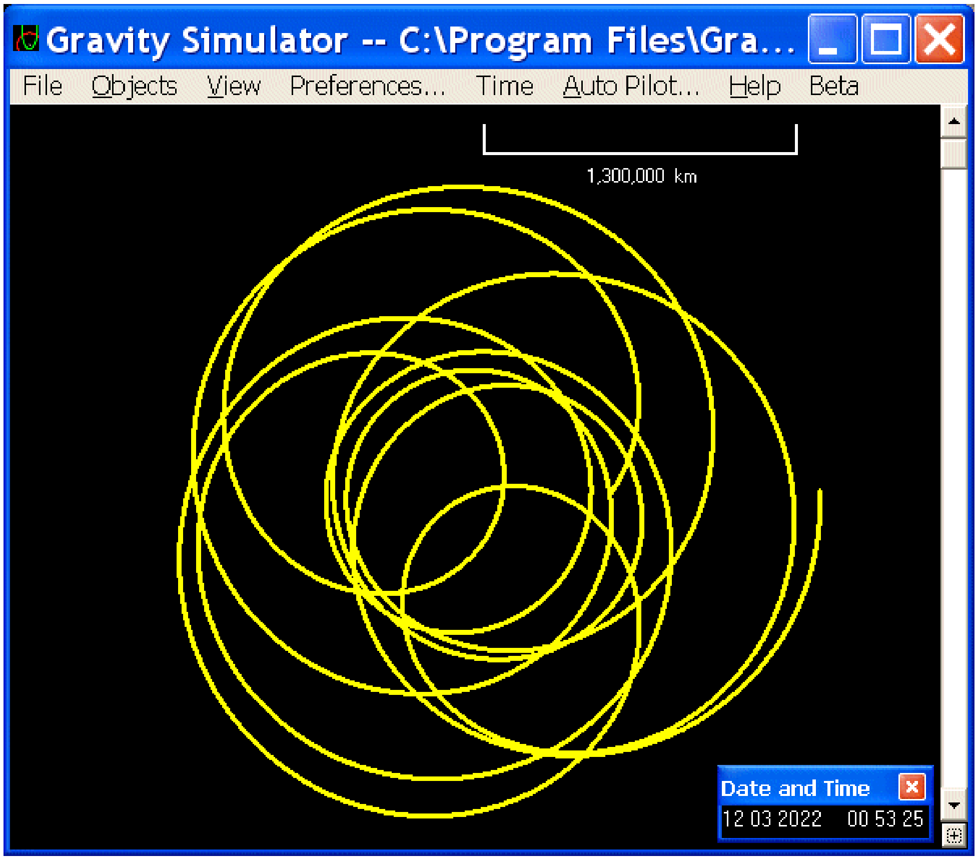


Aunque es conveniente pensar en el *Sol* como el ancla estacionaria de nuestro sistema solar, en realidad se mueve cuando los planetas tiran de él, lo que hace que orbite el baricentro del sistema solar. El Sol nunca se aleja demasiado del *baricentro* del sistema solar. El baricentro suele estar fuera de la *fotósfera* del *Sol*, pero nunca fuera de la corona del *Sol*. La simulación *ssbarycenter.gsim* le permite ver el *Sol* orbi- tar el baricentro del sistema solar. Al eliminar los planetas uno por uno, se puede ob- servar el efecto que cada uno tiene en el baricentro del sistema solar.

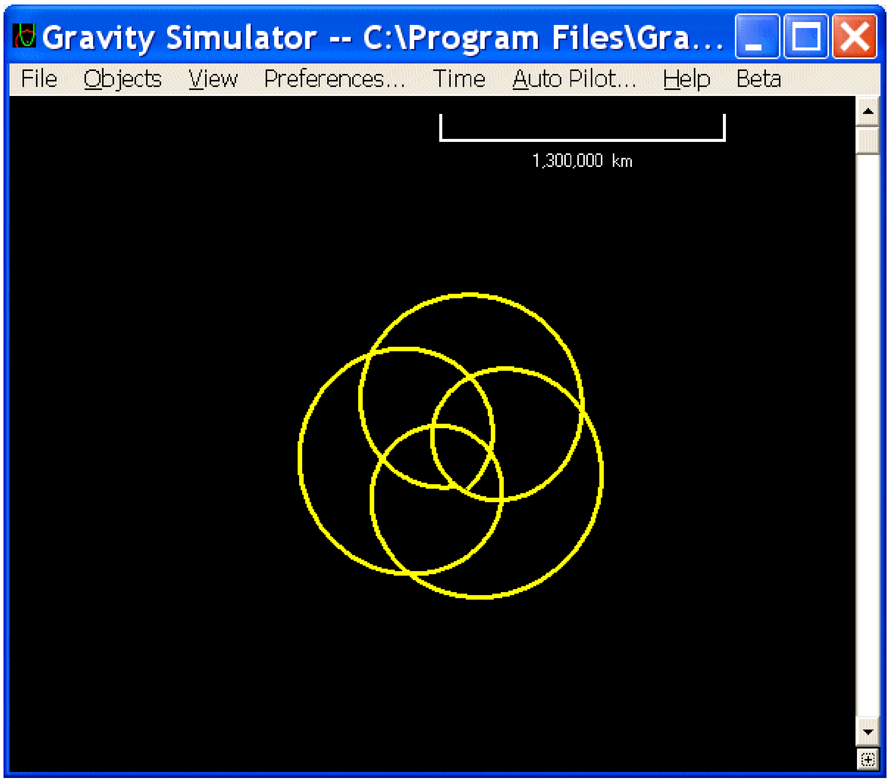
·A continuación, se muestran algunas capturas de pantalla que describen cómo hacer esto. Aquí hay una imagen del *Sol* bloqueada en el centro de la pantalla:



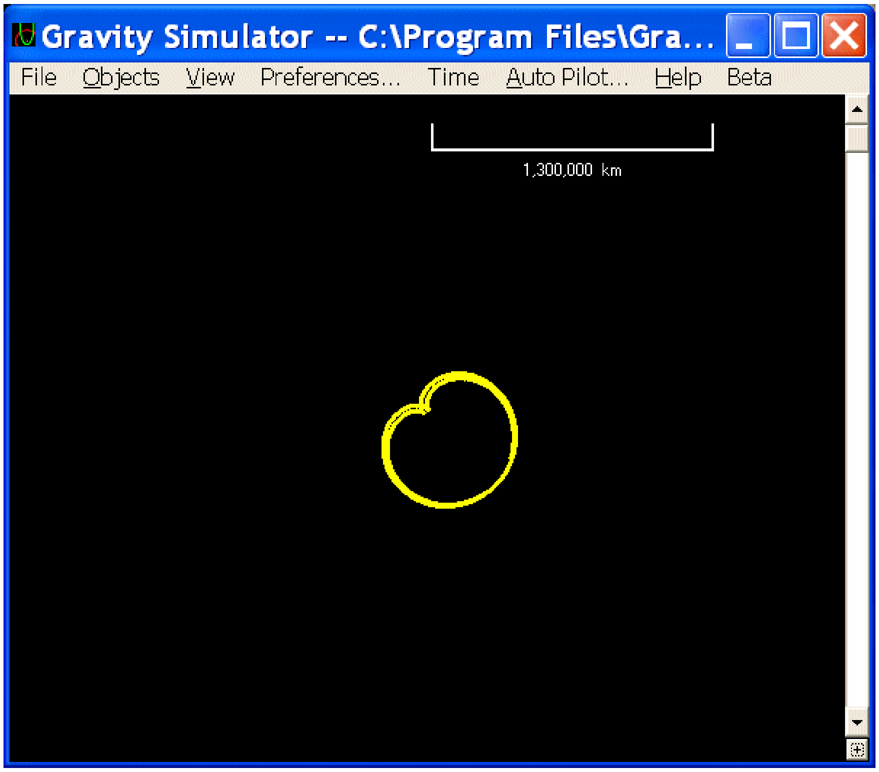
·Editar el *Sol* y establecer su tamaño en 0 mientras conserva su *masa* permite acer carse al *baricentro* del sistema solar y observar la trayectoria del *Sol* a su alrededor:



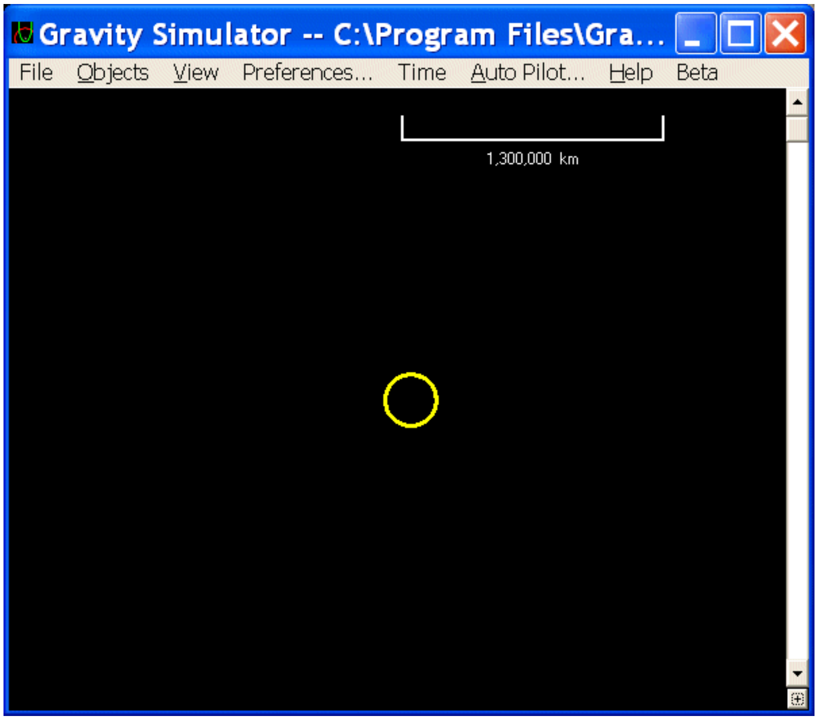
·Editar *Júpiter* y establecer su masa en 0 demuestra que *Júpiter* es responsable de la mayor parte de la oscilación:



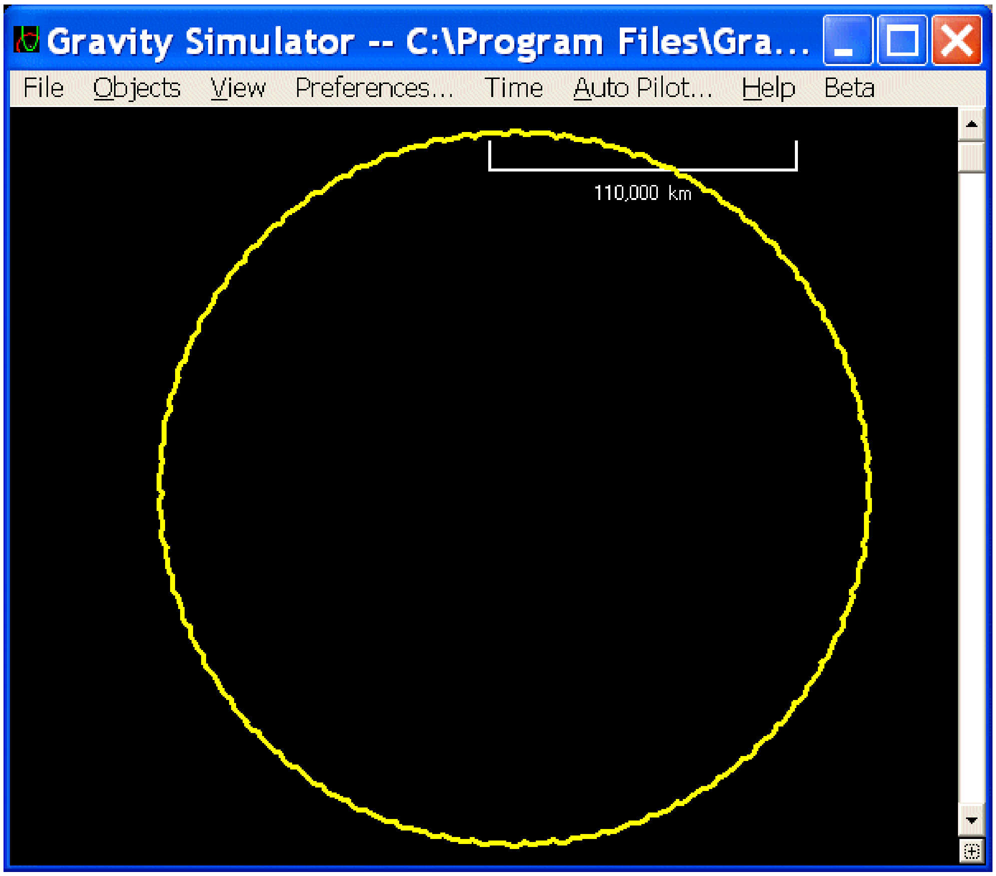
·*Saturno* es el siguiente perturbador más fuerte. Establecer su masa en 0 muestra:



·El siguiente perturbador más fuerte es *Neptuno*. Al establecer su masa en 0, el mo vimiento del *Sol* alrededor del *baricentro* del sistema solar traza un *círculo* alrededor de su *baricentro*. *Urano* es responsable de este *círculo*. El período del *Sol* alrededor del *baricentro* y el *período de Urano* alrededor del baricentro *coinciden*:

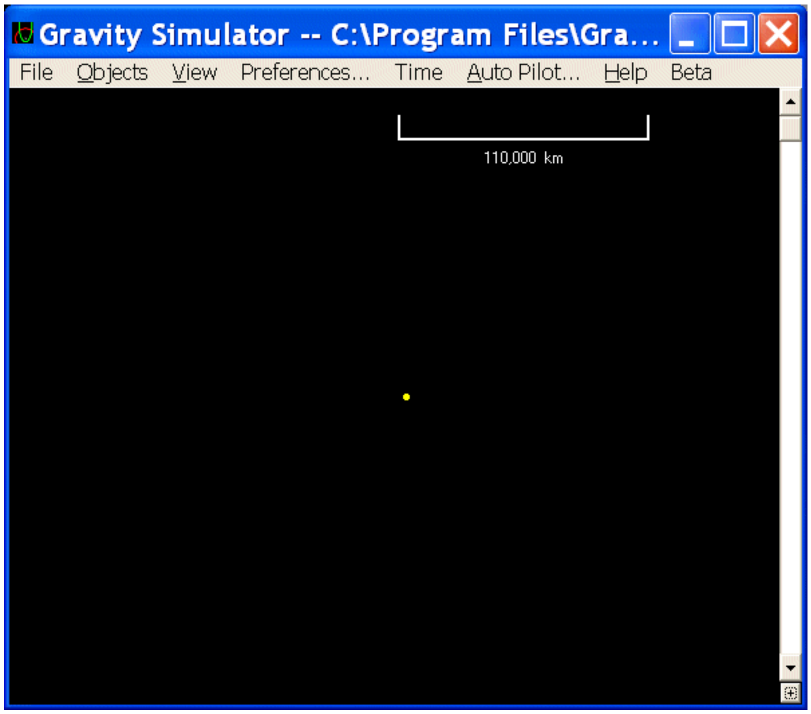


·Al acercar expone los *efectos de los planetas más pequeños* en el *círculo* *inducido* por *Urano*:

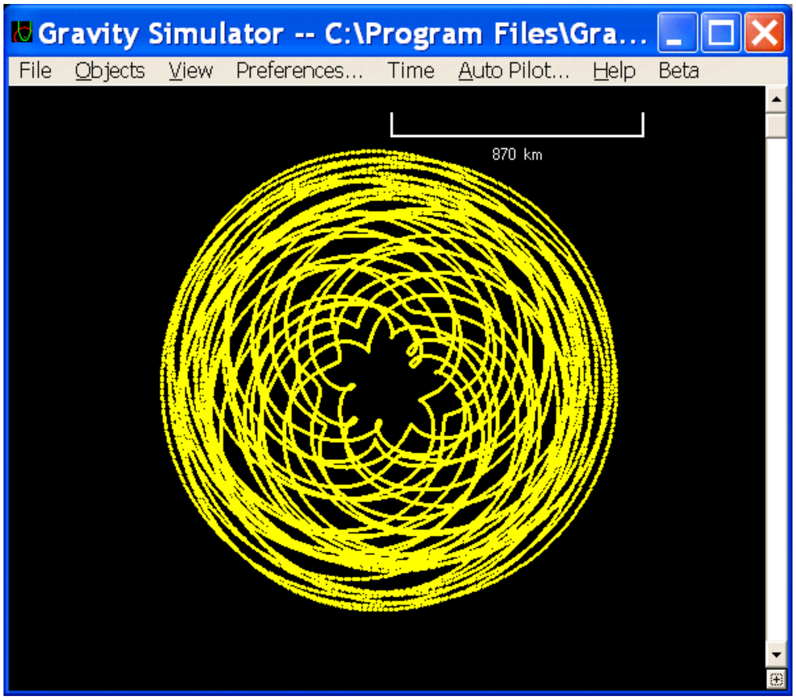


·Establecer la *masa de Urano* en 0 elimina el bamboleteo inducido por *Urano*.

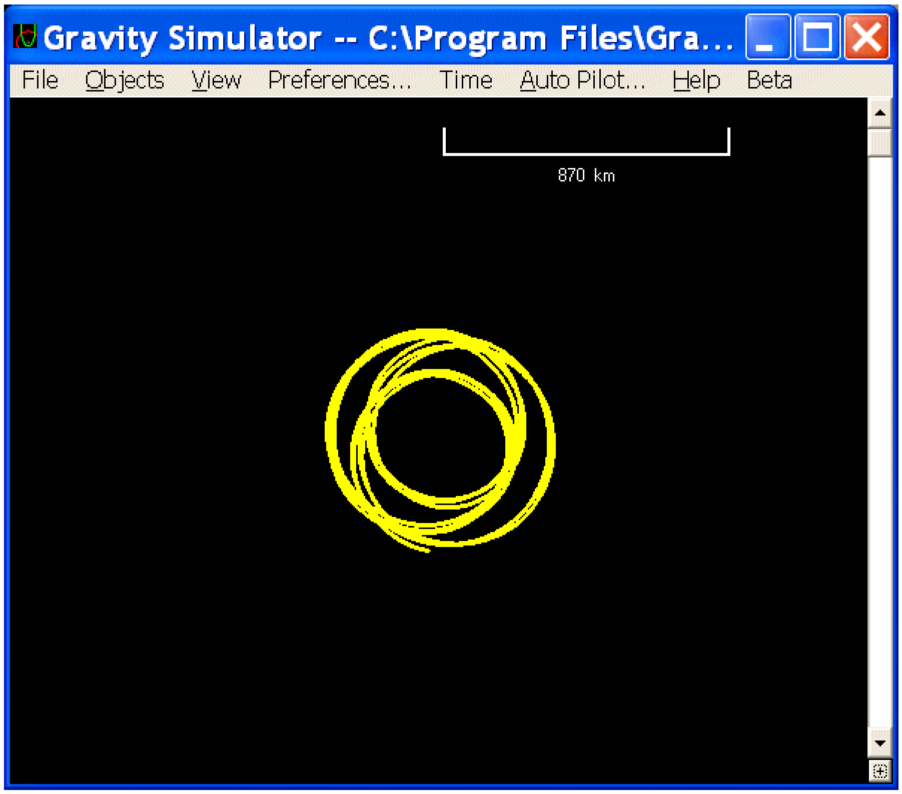
El *centro* del *Sol* ahora parece descansar en el *baricentro* del *sistema solar*:



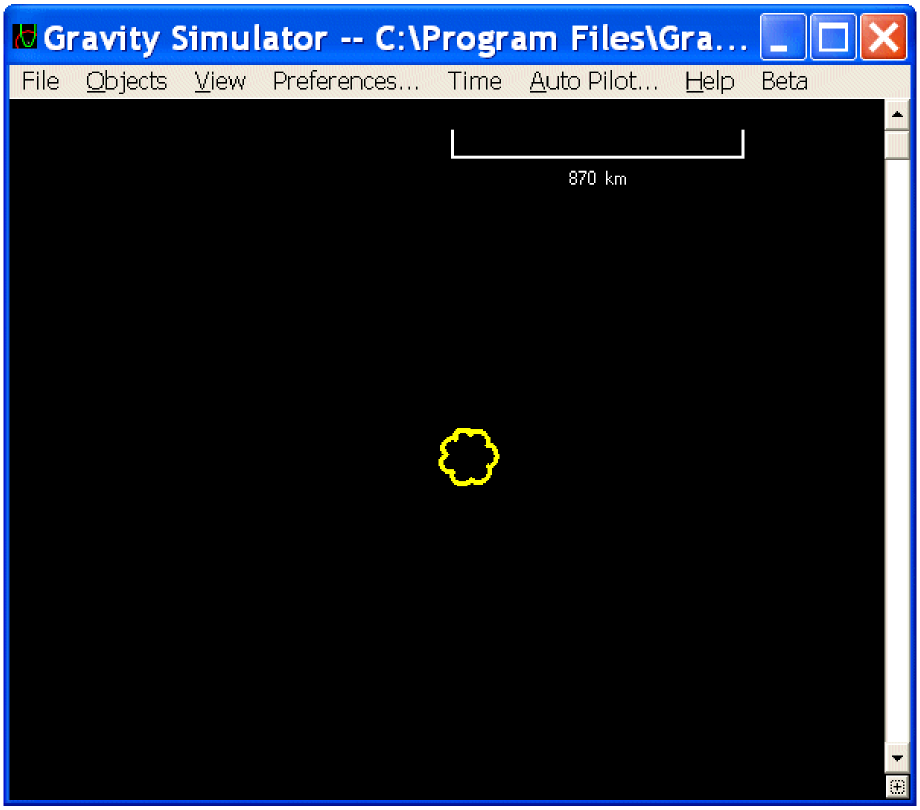
·Pero acercar aún más expone las *influencias de los planetas restantes* en el *bari- centro* del sistema solar: el sistema *La Tierra / Luna* es responsable de la mayor parte del bamboleteo:



·Establecer la masa de la *La Tierra / Luna* en 0 deja a *Venus* como el perturbador más significativo. Tiene la siguiente influencia:

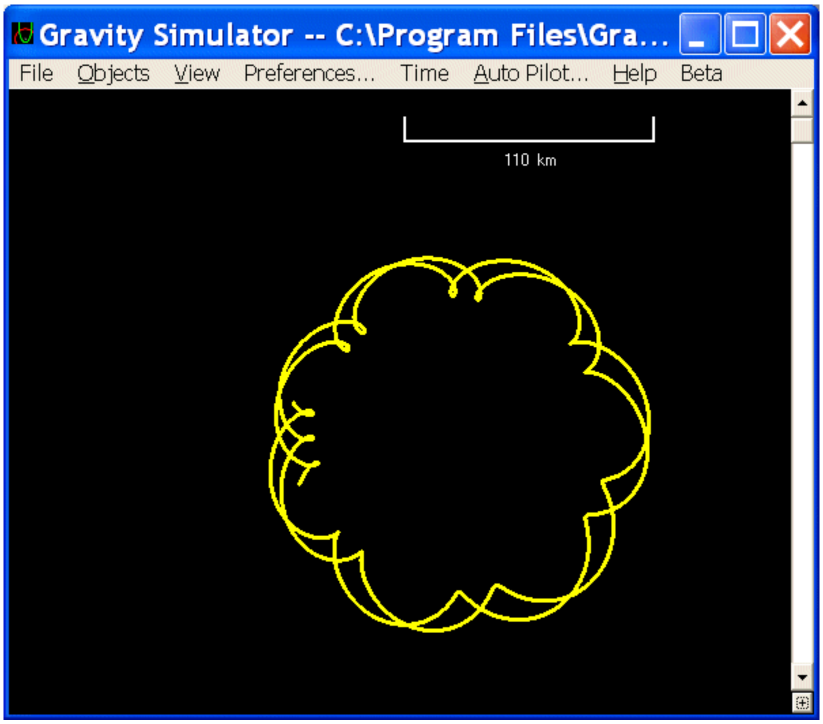


·Establecer la *masa de Venus* en 0 deja a *Mercurio, Marte y Plutón* como los úni- cos perturbadores. Hacen que el centro del *Sol* siga el siguiente camino alrededor del *baricentro* del sistema solar:

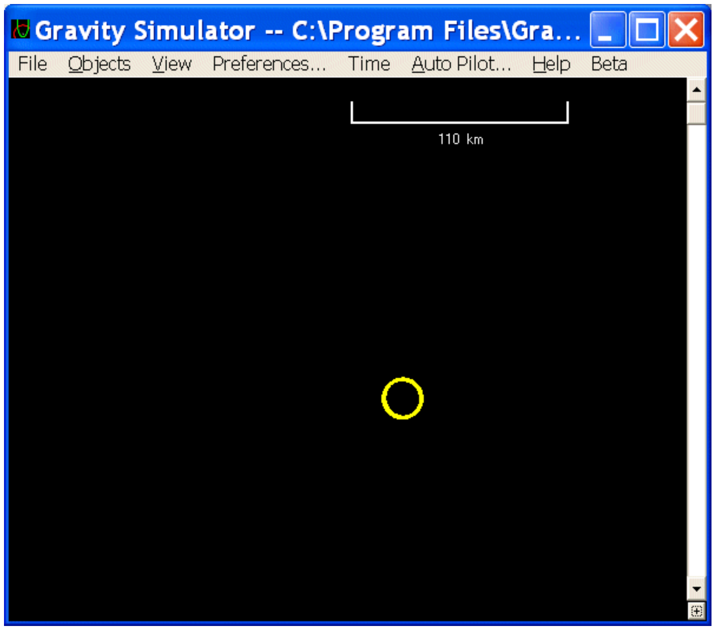


·Acercándonos para una vista más clara, se ven los *efectos de Mercurio y*

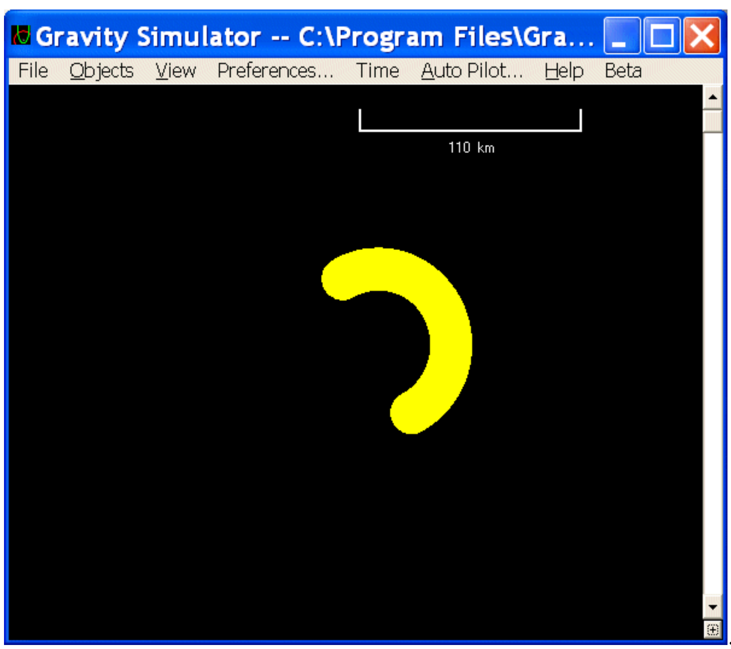
Marte. El efecto de *Plutón* está al descentrar este patrón:



·Establecer a *Marte*, que ahora es el perturbador más significativo, en 0 muestra que la influencia de *Mercurio* hace que el *centro* del *Sol* trace *círculos* alrededor del baricentro del sistema solar:



·El dejar que esta simulación se ejecute durante la *mitad* de la *órbita de Plutón* ex- pone la *influencia de Plutón* en el *baricentro* del sistema solar:



.

En: http://orbitsimulator.com/gravity/articles/ssbarycenter.html se encuentra el si- mulador de orbitas del baricentro, cuyos ejemplos de imágenes anteceden. El progra- ma para windows ahí mismo puede descargarse.

.4