LA LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL HACE (IM)POSIBLE LOS MUNDOS

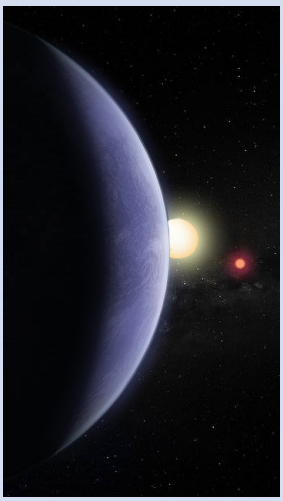
Trabajo de investigación de Física, Astronomía y Matemáticas

Álvaro E, Noé G, Andrés G, Erbol K, Juan L-A, Alberto M, MaPi M, Mireya M, Andrea M, Diego M, Cristina M, Fco Javier O, Iván P, Ricardo P, Lola R, Natalia S, Beatriz T, Olga V, Paco* y Chema *(Prof)*

INTRODUCCIÓN

La idea inicial de nuestro trabajo de investigación fue proponer a nuestros alumnos la lectura de textos de ficción y el visionado de películas donde aparecieran planetas orbitando en sistemas estelares múltiples. Debían **analizar las posibilidades de su existencia** y también si, realmente, serían aptos para albergar vida.

En ciencia ficción todo es posible pero la realidad debe, en primer lugar, estar regida por los estrictos principios de la **estabilidad de sistemas**. Y es que no puede desarrollarse la vida en un sistema tan inestable que ni siquiera pueda permitir la formación de planetas a su alrededor o mantenerlos, de alguna manera, confinados y en orden.



Posible planeta en un sistema estelar con cuatro soles

RESUMEN

Para analizar los efectos gravitatorios que varios cuerpos ejercen entre sí y ver cuáles son sus comportamientos en el tiempo, hemos implementado una serie de programas informáticos compilados en un lenguaje de programación libre de Sistemas Operativos. La razón es que hemos tenido que hacer **cientos de millones** de cálculos complejos.

Nuestro proyecto de investigación tiene **tres partes**:

1.Construcción de las herramientas de trabajo y confirmación de su aplicabilidad

2.Estudio de sistemas planetarios extrasolares estables y obtención de conclusiones

3.Explicación de algunas peculiaridades de nuestro propio sistema solar

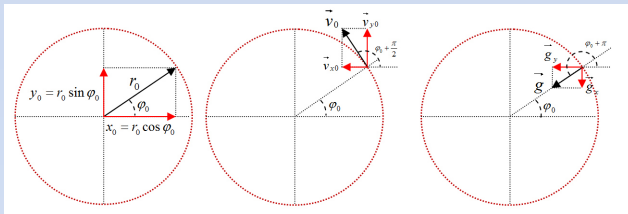
EXPERIMENTACIÓN Y MÉTODO

Nuestro tratamiento matemático comienza estableciendo una posición inicial y también una velocidad inicial para un planeta cualquiera y las expresamos en coordenadas cartesianas :

$$\begin{cases} \vec{r_0}(x_0, y_0) = \vec{r_0}(r_0 \cos\varphi_0, r_0 \sin\varphi_0) \\ \vec{r_0}(r_0, \varphi_0) \qquad\qquad \vec{v_0}(v_{x0}, v_{y0}) \end{cases}$$

Calculamos la aceleración de la gravedad experimentada por nuestro cuerpo celeste, y la descomponemos en coordenadas cartesianas también:

$$\begin{cases} \vec{g} = (-)G\dfrac{M}{r_0^{\,2}}\vec{u} \\ \vec{g}(g_x, g_y) = \vec{g}(g\cos(\varphi_0+\pi), g\sin(\varphi_0+\pi)) \end{cases}$$



Descomposiciones cartesianas del radiovector, de un planeta, su velocidad orbital y aceleración de la gravedad

Nuestra propuesta de cálculo (accesible a **alumnos de la ESO y Bachillerato**) es hallar, instante tras instante, la nueva posición del planeta y su velocidad a través de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{x0}t + \dfrac{1}{2}g_x t^2 \\ y = y_0 + v_{y0}t + \dfrac{1}{2}g_y t^2 \end{cases} \qquad \begin{cases} v_x = v_{x0} + g_x t \\ v_y = v_{y0} + g_y t \end{cases}$$

Que son las *ecuaciones paramétricas de los movimientos rectilíneos uniformemente acelerados*. Este es un detalle que tenemos en cuenta bien, pero que, **tratadas infinitesimalmente**, nos proporcionan una excelente solución.

Palabras clave: *gravitación, centro de masas, radiovector, apoastro, periastro, velocidad orbital, descomposición vectorial, suma vectorial, compilación, reiteraciones.*

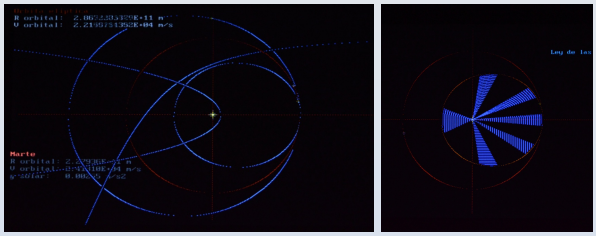
LA LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL HACE (IM)POSIBLE LOS MUNDOS

Trabajo de investigación de Física, Astronomía y Matemáticas

Álvaro E, Noé G, Andrés G, Erbol K, Juan L-A, Alberto M, MaPi M, Mireya M, Andrea M, Diego M, Cristina M, Fco Javier O, Iván P, Ricardo P, Lola R, Natalia S, Beatriz T, Olga V, Paco* y Chema *(Prof)*

ESTUDIOS REALIZADOS

El procedimiento empleado predice la existencia de todo tipo de órbitas (cónicas) y así también, predice la ley de igualdad de las áreas de Kepler:



Cónicas y ley de las áreas de Kepler

Ampliando el número de variables llegamos a representar varios cuerpos a la vez obteniendo, con cálculos realizados en tiempo real, una imagen (reducida) de nuestro propio sistema solar:

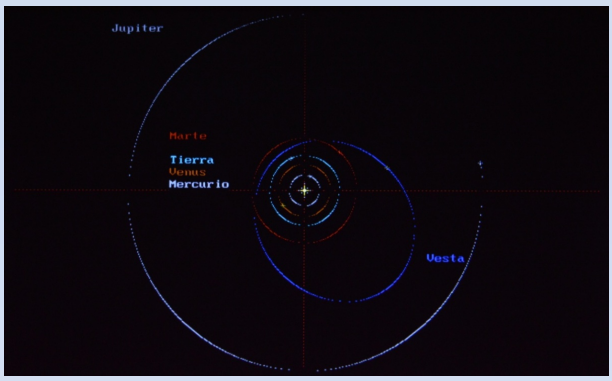
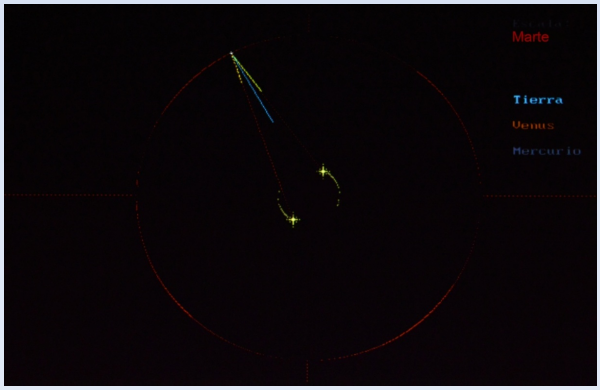


Imagen reducida de nuestro sistema solar

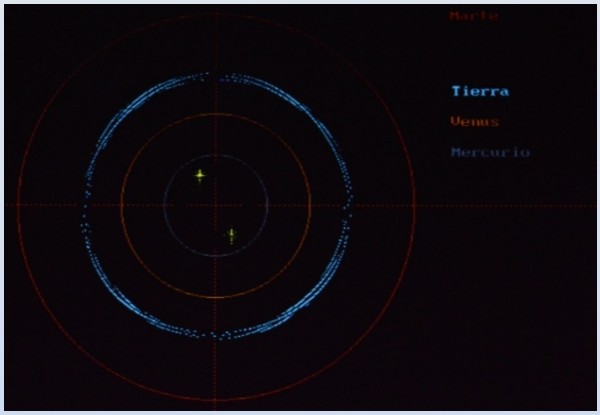
E-1

El caso más simple que imaginamos: dos soles idénticos orbitando en torno a un centro de masas común a una distancia predefinida.



Suma vectorial de aceleraciones en un hipotético Marte orbitando dos soles idénticos al nuestro.
Es posible su existencia y la de todos los planetas exteriores.

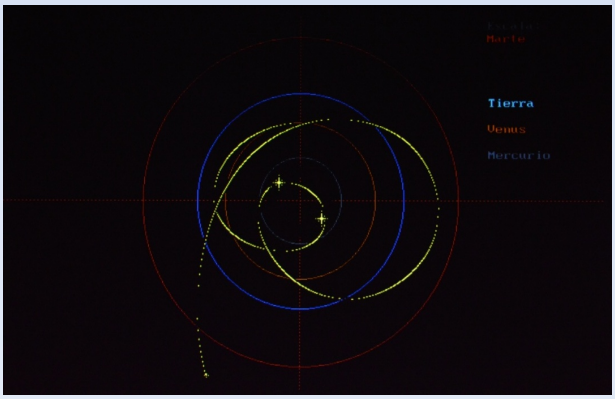
En cambio, nuestra imaginaria *Tierra* permanecería en una región de *casi-estabilidad*. Aunque sufriría tirones gravitatorios muy intensos, su movimiento quedaría confinado en una región estrecha de unas decenas de millones de kilómetros de anchura.



La existencia de nuestra Tierra no sería posible en un sistema así

Con continuos cambios de órbita de tal magnitud, nos resulta **muy difícil** imaginar cómo muchos *protoplanetas* podrían haber llegado a formar un planeta único. Sospechamos que en lugar de *nuestra Tierra* no habría otra cosa que un **cinturón de asteroides**.

Con un imaginario *Venus* nos ha sido **imposible** encontrar parámetros que lo sitúen en una órbita estable. Las inestabilidades ocasionadas por estos dos soles son tan fuertes que su movimiento siempre termina impactando con alguno de ellos o expulsado del sistema.



Ni Venus ni Mercurio podrían siquiera imaginarse en u n sistema así

LA LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL HACE (IM)POSIBLE LOS MUNDOS

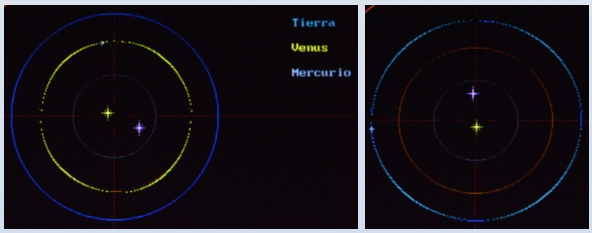
Trabajo de investigación de Física, Astronomía y Matemáticas

Álvaro E, Noé G, Andrés G, Erbol K, Juan L-A, Alberto M, MaPi M, Mireya M, Andrea M, Diego M, Cristina M, Fco Javier O, Iván P, Ricardo P, Lola R, Natalia S, Beatriz T, Olga V, Paco y Chema* (Prof)*

E-2

Estrella similar a nuestro sol acompañada de otra, cinco veces menor, orbitando en torno a un CDM común con órbitas circulares. Distancia entre ellas: 80 millones de kilómetros.

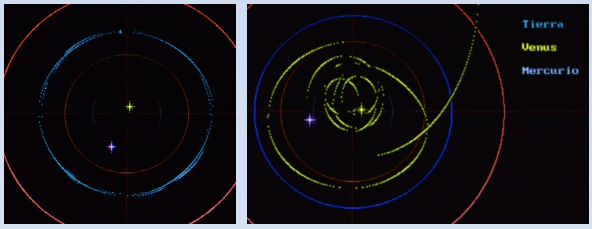
Un planeta como Venus presentaría ligeras, aunque "muy molestas", irregularidades. En cambio, la Tierra, Marte y los planetas exteriores sí tendrían un "buen comportamiento".



La Tierra y los planetas exteriores son estables. Venus y Mercurio no.

E- 3

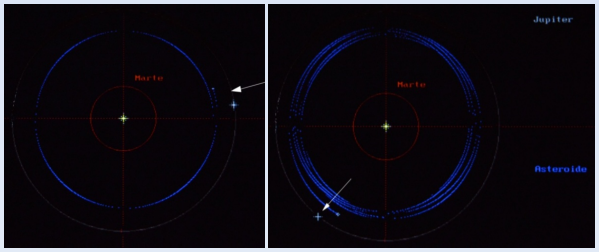
Si estas dos estrellas desiguales están más **separadas** o tienen órbitas elípticas, aparecen de nuevo esas odiosas inestabilidades en nuestros planetas interiores. Nuestra búsqueda de planetas estables comenzaría, una vez más y como mínimo, a la distancia de Marte.



La separación de estrellas desestabiliza el sistema de planetas interno

E-4

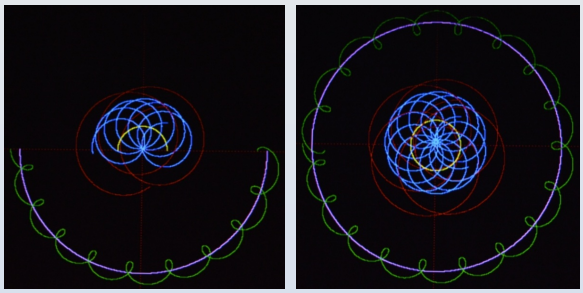
Nuestro siguiente estudio analiza la influencia gravitatoria del propio Júpiter: los planetas interiores apenas notarían sus perturbaciones pero los objetos situados entre Marte y Júpiter sí que experimentarían profundas alteraciones.



Un asteroide sufre tirones gravitatorios sucesivos cada vez que se encuentra en *conjunción* con Júpiter

E-5

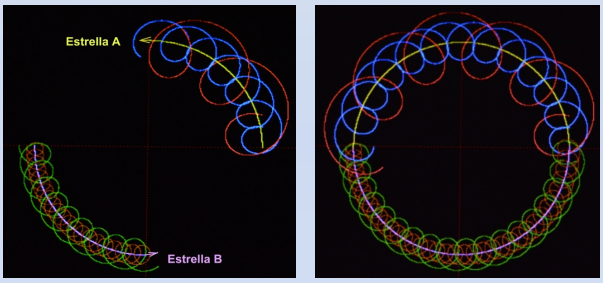
Estrella mayor (sol) y menor (1/5) situada a la distancia de Júpiter:



Este sistema permite un reducidísimo cortejo de planetas cercanos

E-6

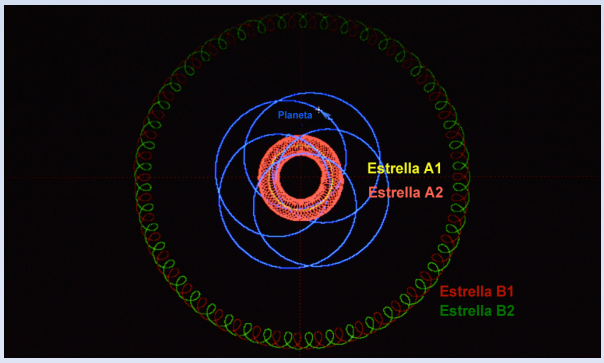
Dos estrellas iguales (sol) situadas al doble de la distancia de Júpiter:



La lejanía de estrellas estabiliza los planetas

E-7

Sistema cuádruple asociado por parejas de soles distantes.



Nuevamente: la lejanía de estrellas estabiliza los planetas

CONCLUSIONES

Bajo ciertas condiciones, comprobamos que la existencia de otros mundos es posible.

El estudio de sistemas planetarios es perfectamente abordable en cursos de la ESO y Bachillerato con herramientas de análisis sencillas pero rigurosas.