

Trabajando con órbitas

Esteban Esteban PeñaIba



Publicaciones de ApEA nº 7

TRABAJANDO CON ÓRBITAS

Esteban Esteban

Publicaciones de ApEA

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

No. 7 (Secundaria) - Junio 2005

Publicaciones de ApEA

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía
Con la colaboración de Kutxa Espacio de la Ciencia

Dibujo de Portada:
LeBlanc

Comité de Redacción:
Simón García
Ederlinda Viñuales

Dirección:
Rosa M. Ros (Vocal Editora de Publicaciones de ApEA)
Dept. Matemática Aplicada IV
Universidad Politécnica de Catalunya
Jordi Girona 1-3, modulo C3, 08034 Barcelona
e-mail: ros@mat.upc.es

ISBN: 84-932062-7-X

D.L.: B-25567-2005

Imprés a FLAIX ÒFSET

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	7
LAS LEYES DE KEPLER EN EL SUELO DE LA CLASE.....	9
- Objetivos.....	9
- Desarrollo de la actividad	9
- Conclusiones, comentarios y sugerencias	13
LA DANZA DE LOS PLANETAS.....	16
- Objetivos.....	16
- Desarrollo de la actividad	16
- Conclusiones, comentarios y sugerencias	20
ORBITAS EN 3 DIMENSIONES.....	22
- Objetivos.....	22
- Desarrollo de la actividad	22
- Conclusiones, comentarios y sugerencias	27
ASTROS COORBITALES.....	31
- Objetivos.....	31
- Desarrollo de la actividad	31
- Conclusiones, comentarios y sugerencias	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37

PRESENTACIÓN

El estudio del sistema solar constituye, sin duda, uno de los aspectos que no se pueden dejar de lado, tanto en un curso de astronomía como en los temas que tratan cuestiones de esta ciencia dentro de distintas asignaturas.

En casi todos de los niveles de la enseñanza primaria y secundaria aparecen temas relacionados con nuestro sistema planetario, y en la mayoría de los casos se suele incidir más en las características físicas de los diferentes planetas del sistema solar que en aspectos que proporcionen una visión más global, y en los relacionados con la mecánica celeste. Además cuando se abordan estas cuestiones se suele hacer de manera parcial y a veces destacando circunstancias que desvirtúan las principales características de los movimientos planetarios: se exagera la excentricidad de las órbitas, se alteran las escalas de distancias, y suelen utilizarse gráficos explicativos que inducen al alumnado a errores importantes.

En este trabajo se abordan diferentes actividades sobre el Sistema solar que inciden precisamente en aspectos de mecánica celeste: los movimientos y las órbitas de los astros de nuestro sistema planetario. Tienen como elementos comunes por un lado el objetivo de intentar que el alumnado capte la realidad de dichos movimientos y le aleje de algunos tópicos o ideas previas erróneas, y por otra parte una metodología muy especial y alejada de lo habitual. Son actividades a realizar en común por todo el grupo, y los espacios donde se desarrollan en su mayoría son poco habituales como el patio o el suelo de la clase.

Se trata de 4 actividades diferentes y complementarias; 3 de ellas diseñadas y realizadas con alumnado del I.E.S. "Angela Figuera" de Sestao, y la otra diseñada por el Grupo Azarquiel, publicada en la obra "Astronomía en la Escuela", de donde se ha recogido, y realizada en diferentes centros.

Aunque la metodología e incluso el escenario en que se lleva a cabo cada una de ellas es diferente, su realización consecutiva supone una línea lógica en la comprensión y profundización del estudio de los movimientos de los astros del sistema solar. A pesar de ello pueden realizarse independientemente, y solo en cuestiones puntuales se hace referencia a una actividad anterior. La última, de hecho, es solo una propuesta opcional cuya realización debe valorarse según los intereses o características del grupo.

En cada una de las 4 actividades se describen los objetivos iniciales, el desarrollo de la actividad y una valoración tras la realización práctica con nuestro alumnado, destacando aspectos sobre los que conviene incidir, dificultades que pueden surgir o logros y utilidades no previstas inicialmente. Estas conclusiones no tienen por qué coincidir con la realización de las actividades en otros grupos en diferentes contextos, pero pueden servir de ayuda al profesorado para planificar convenientemente las actividades.

LAS LEYES DE KEPLER EN EL SUELO DE LA CLASE

OBJETIVOS

Que el alumno-a visualice y comprenda en su justa medida las características reales de las órbitas y movimientos de los planetas alrededor del Sol, y deseche las falsas ideas previas que adquiere habitualmente por las incorrectas ilustraciones que suelen aparecer en muchos libros.

Que aprenda a trazar dichas órbitas con los parámetros adecuados de cada elipse, compruebe que en general son casi circulares, y relacione los valores numéricos de la excentricidad con la forma real de la órbita.

Que entienda el verdadero significado de las leyes de Kepler y utilizando su extraña formulación sea capaz de realizar los cálculos necesarios para determinar los valores de las diferentes variables que condicionan la velocidad en el movimiento de los planetas según su diferente distancia media al Sol, o la situación en determinado punto de la órbita.

Que sea capaz de realizar un trabajo en equipo haciendo las aportaciones necesarias, y comparándolas y completándolas con las de los compañeros.

Obtener un recurso útil para realizar actividades posteriores relacionadas con las posiciones planetarias.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

a) Planteamiento

Se trata de una actividad didáctica en la que se intenta plasmar las órbitas y movimientos planetarios en su justa medida, ya que en la mayoría de las ocasiones el simple enunciado de las leyes de Kepler que reflejan estas circunstancias suele llevar al alumnado a formarse una imagen falsa de la realidad de las órbitas planetarias, y a una falta de comprensión del significado de la formulación matemática y su implicación en la velocidad de estos astros.

Su desarrollo se plasma en el suelo del aula, donde, una vez apartados los pupitres, se trazan a escala las órbitas de diferentes planetas y se reflejan diversos parámetros de dichas órbitas.

Antes de realizar la actividad conviene situar las leyes y su descubrimiento en el contexto histórico en que se produjo, valorando el método de trabajo y las premisas de las que partió Kepler.

Para obtener los distintos parámetros que se necesitan para realizar el trabajo, se proporciona al alumnado la siguiente tabla con los datos rellenos en las 2

primeras columnas que, en grupos, con la ayuda de la calculadora y las explicaciones del-la profesor-a, irá completando según el orden y momento que se indicará más adelante.

Se aconseja trabajar con los 4 primeros planetas y el cometa de órbita más pequeña.

Astro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mercurio	57,9	0,206							
Venus	108,2	0,007							
Tierra	149,6	0,017					365,25		
Marte	227,9	0,093							
C. Encke	331,3	0,844							

- 1- Distancia media al Sol (a)
- 2- Excentricidad ($e=c/a$)
- 3- Distancia del centro al foco (c)
- 4- Distancia máxima al Sol
- 5- Distancia mínima al Sol
- 6- Distancia recorrida en el afelio, en el mismo tiempo que en el perihelio recorre 30 millones de Km
- 7- Periodo (nº de días que tarda en recorrer toda la órbita)
- 8- Longitud aproximada de la órbita, suponiendo que fuese una circunferencia
- 9- Distancia media recorrida en 30 días

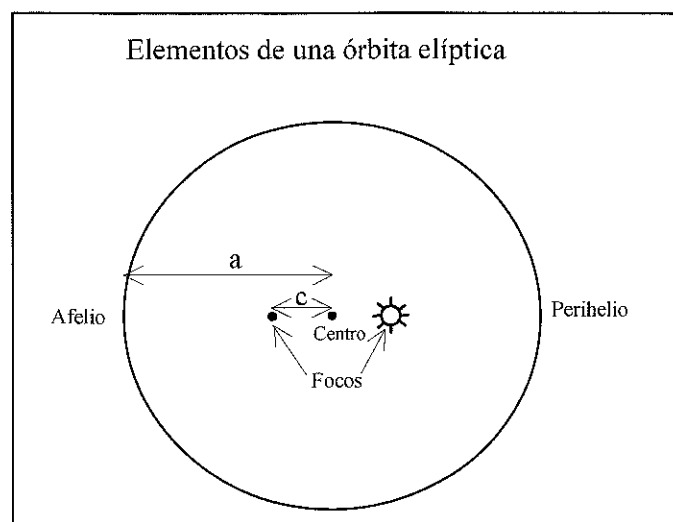
Todas las distancias vienen dadas en millones de kilómetros

Conviene dividir al alumnado en 5 grupos, y cada uno de ellos se encargará de un astro.

Se despeja la clase de mesas y sillas, que se apilan en las esquinas y se preparan los materiales.

b) Primera ley.

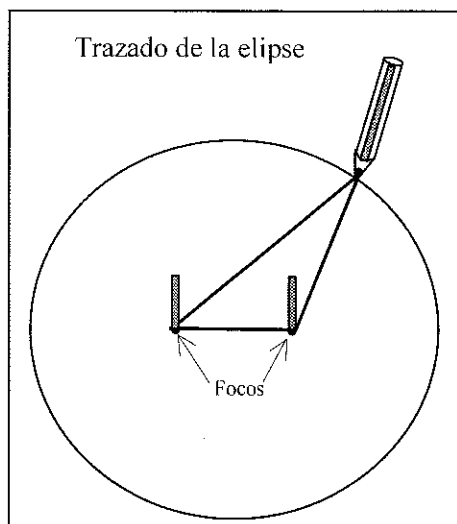
Para señalar que las órbitas no son circulares sino elípticas, tal como dice la 1ª



ley, habitualmente se exagera enormemente la excentricidad de los gráficos explicativos y ello conduce, además de crear una idea totalmente falsa de la situación (las órbitas reales son casi circulares), a conclusiones más graves, como el típico error (muy extendido) de pensar que en Verano la Tierra está apreciablemente más cerca del Sol, y por eso hace más calor. En este sentido se puede decir que

esta primera ley suele ser didácticamente perniciosa.

A pesar de todo ello, y en una primera explicación para comprender lo que son las elipses, se recuerda su definición, método de trazado con una cuerda, significado y expresión matemática de la excentricidad $e=c/a$. Pero se insistirá en que el gráfico no representa fielmente las órbitas de los planetas y que se van a obtener éstas en su verdadera forma.



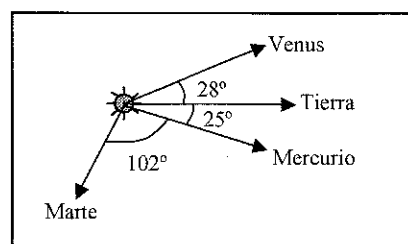
A partir de los datos de la distancia media al Sol y la excentricidad, se calculan las distancias entre los focos $2c$ (en la columna 3, $c=a.e$) y una vez colocada la posición del Sol a dicha distancia se coloca el otro foco, se determina la longitud de la cuerda para que pase por el vértice ($2a+2c$), y se trazan en el suelo las elipses que representan las órbitas a escala de los planetas más interiores, hasta Marte por el método citado con una cuerda y un rotulador.

Una escala adecuada puede ser en la que 1cm. equivalga a un millón de kilómetros; que permite trabajar con comodidad, traspasar rápidamente las diferentes medidas, y caben en una clase de tamaño normal. A los planetas citados se puede añadir el cometa Encke (el de menor periodo conocido) para contrastar la diferencia de las órbitas de estos astros.

Para que no haya problemas de espacio, y entre bien la órbita de Marte, la posición del Sol debe estar a 2,5 m de dos de las paredes del aula.

Para obtener un resultado totalmente exacto se proporciona la situación real del segundo foco de cada órbita planetaria:

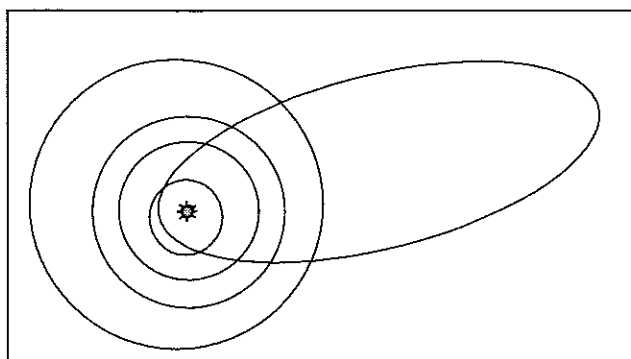
El hecho de colocar el segundo foco en la orientación relativa adecuada no es imprescindible para esta actividad, pero sí lo es si se quiere obtener la posición relativa real de las órbitas, utilizar posteriormente esta maqueta para trabajar con elongaciones planetarias, averiguar las fechas de las máximas elongaciones de Mercurio, o las mejores oposiciones de Marte. Las posiciones de estos focos vienen determinadas por el argumento del perihelio de cada planeta, y podría darse de manera numérica; sin embargo de momento no parece conveniente introducir dicho parámetro teniendo en cuenta los objetivos de esta actividad, y se indican de manera gráfica.



Si se utilizase una escala menor para incluir más planetas, la órbita de Mercurio, que es la que más juego dará, quedaría demasiado pequeña.

Una vez dibujadas las elipses con un rotulador se coloca cinta adhesiva por encima.

Con este primer trabajo se aprecia muy bien cómo las órbitas planetarias son casi circulares, a diferencia de las de los cometas. Incluso la de Mercurio que es la más excéntrica, parece casi circular y únicamente se observa claramente que el Sol no está en el centro. En el caso de Marte se aprecia que la distancia a la órbita de la Tierra es diferente según el lugar de la misma, y a primera vista parecen dos circunferencias no concéntricas.

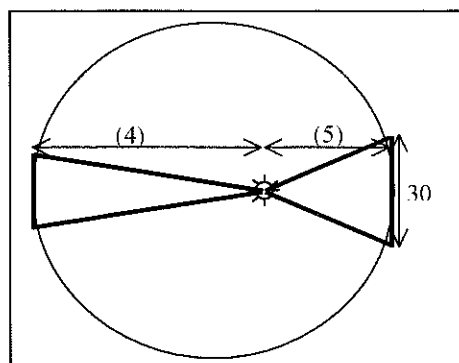


c) Segunda ley

El enunciado habitual de la ley "el radio vector del planeta barre áreas iguales en tiempos iguales" suele hacerse inteligible para el alumnado de secundaria, y normalmente se vuelve a exagerar la excentricidad de la elipse para visualizar la explicación.

Mediante un cálculo sencillo y reducido a las posiciones extremas se manejará la formulación de la ley y su implicación exacta en cada planeta.

Con cinta adhesiva de diferente color, y sobre cada órbita, se coloca la distancia que un planeta recorre en una misma unidad de tiempo, en el afelio y en el perihelio. Por ejemplo, se calcula el espacio que recorre en las proximidades del afelio, en el mismo tiempo que en el perihelio recorre 30 millones de Km, y con estos datos se rellena la columna 6 de la tabla. Previamente se miden en el suelo las distancias máxima y mínima al Sol o se calculan ($a+c$ y $a-c$ respectivamente) y se rellenan las columnas 4 y 5. Los cálculos de las áreas se hacen aproximados considerando triángulos isósceles (en realidad uno de los lados es curvo, pero el error es pequeño). Por ejemplo en el caso de Mercurio $\frac{30 \cdot 45,97}{2} = \frac{x \cdot 69,83}{2}$, $x=19.75$



Se puede incluso dibujar con la misma cinta adhesiva, los dos triángulos con igual área.

Esto permite cuantificar la diferencia de velocidad, traducida en que mientras en Mercurio 30 millones de Km en el perihelio se recorren en el mismo tiempo que casi 20 en el afelio, en la Tierra son 30 a 29, y en Venus la diferencia es aún menor. En el cometa Encke 30 frente a 2,5.

d) Tercera ley

"El cuadrado del periodo de los planetas es proporcional al cubo de su distancia media al Sol". Nuevamente el enunciado es extraño, y aunque el

alumno-a ve lógico que un planeta tarde más tiempo en recorrer una órbita más grande, no entiende fácilmente que la proporcionalidad de cuadrados con cubos implique una menor velocidad, y sobre todo la diferencia real de un planeta a otro.

En nuestro caso se visualizará la diferente velocidad de cada planeta. A partir del dato conocido de la duración del año en la Tierra, se calculan los periodos T de los demás planetas por la fórmula de la propia ley y se rellena la columna 7.

Como en general $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2}$, si en el primer caso se pone la Tierra $\frac{149,6^3}{365,25^2} = \frac{a^3}{T^2}$,

sustituyendo el dato a del semieje de cada planeta se despeja su periodo T .

Para ver cómo se plasma este dato en la diferente velocidad, se calcula la longitud de la órbita aproximándola por la de una circunferencia de radio a y, utilizando el valor obtenido del periodo, mediante una proporción se calcula aproximadamente el espacio recorrido por cada planeta en 30 días con una velocidad media, a mitad de camino entre el afelio y el perihelio. Los resultados se colocan en las columnas 8 y 9.

Se cortan tiras de cinta adhesiva de un tercer color según estas medidas, que primero se colocan juntas para comparar y apreciar su diferente longitud, y luego se pegan sobre la órbita en el lugar adecuado.

La cinta de Mercurio mide 124 cm., la de Venus 91, la de la Tierra 77 y la de Marte 62'5. Esta medida para el cometa Encke no es conveniente (ni interesante) hacerla, ya que debido a su elevada excentricidad no permite un cálculo aproximado sencillo de la longitud de su órbita.

Las órbitas de los planetas quedan fijas en el suelo, y aunque se coloquen luego los pupitres sobre ellas para impartir normalmente las clases, no suelen despegarse las cintas, o a lo mucho pueden requerir de vez en cuando algún ligero parcheo.

CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

El trabajo completo puede requerir 2 o más horas de clase, y el hecho de la movida que supone el retirar las mesas o trabajar en el suelo puede ocasionar que algunos-as lo tomen como un juego, por lo que previamente hay que explicar lo que se va a hacer, cómo, y por qué. También puede ocurrir que en algún grupo haya algún alumno-a que no colabore con sus compañeros-as al considerar que en un único trabajo final de todo el grupo no se verá su aportación.

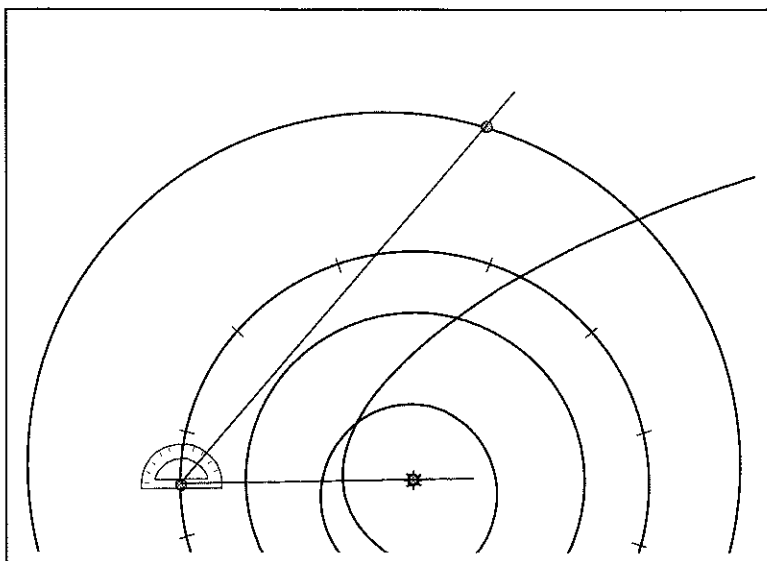
No obstante en general se sienten satisfechos-as del trabajo realizado y suelen querer que permanezca hasta final de curso. Queda así el sistema solar como un elemento más del aula, y puede ser utilizado posteriormente para explicar y visualizar las posiciones planetarias (oposiciones, conjunciones, máximas elongaciones...) colocando esferas en determinados lugares de las órbitas, o

colocándose los propios alumnos, que visualizarían claramente las diferentes situaciones.

Además de esto, el trabajo realizado queda como recurso didáctico con diversas posibilidades de utilización o mejora:

- Si en la órbita de la Tierra se señalan los meses, se aprecia muy bien las diferencias en la distancia a Marte según la fecha en que se produzca la oposición, o la magnitud de las máximas elongaciones de Mercurio dependiendo también de la fecha en que ésta se produzca.

- A partir del cálculo realizado de la longitud recorrida en 30 días se puede incluso señalar en todas las órbitas los intervalos recorridos por cada planeta en una semana; con lo que si se colocan marcas con pegatinas un día concreto en su posición exacta a partir de sus elongaciones tomadas de las efemérides y actualizándolas en la clase de Astronomía cada semana, se tiene en todo momento la posición de estos planetas.



La colocación inicial de las marcas de los planetas se hace con un transportador grande dibujado, escaneado o fotocopiado ampliado preferiblemente en un papel DIN A3 que se sitúa en el suelo, con el que se mide el ángulo con vértice en la Tierra que pasa por el Sol y el planeta y que se traza con dos cuerdas. Al cabo de varias semanas o meses que se han ido moviendo según las marcas calculadas, se vuelven a medir sus elongaciones de la misma manera y se comprueba que los resultados coinciden (aproximadamente) con los datos del anuario de efemérides.

- Otra posibilidad que se puede añadir a las órbitas de los planetas son las órbitas de diferentes cometas en su posición real fuera del plano de la eclíptica. En nuestro centro se han realizado en cartón las porciones de órbitas que quedan en el hemisferio Norte eclíptico (por encima del suelo) de los dos últimos grandes cometas: El Yakutake mediante varias planchas de cartón que se quitan y se ponen rápidamente, y el Hale-Boop, que ocupa un espacio mucho mayor, mediante una tira de cartón colgada del techo que no impide dar clase normalmente.



Una alternativa al trazado de las órbitas en el suelo, es que cada alumno-a realice un trabajo similar en una lámina de papel, a escala más reducida; pero puede ser más problemático tanto el trazado de las elipses, como la medición de las diferentes distancias; además de ser menos motivador que una actividad realizada entre toda la clase, con la movida incluida de modificar el espacio físico de trabajo que le da un aspecto lúdico que no se debe dejar de lado.

LA DANZA DE LOS PLANETAS

OBJETIVOS

Visualizar el movimiento de los planetas, su diferente velocidad, y la situación relativa de sus órbitas.

Obtener una maqueta a escala temporal de los movimientos de los planetas, la rotación solar, e incluso el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

Apreciar y entender los motivos de la retrogradación planetaria; por qué y cuándo se produce.

Visualizar el paso del Sol por las diferentes constelaciones zodiacales, y la relación con las diferentes fechas.

Relacionar las posiciones observadas de los planetas con su posición y la de la Tierra.

Realizar una actividad motivadora en el sentido de poder constituir un verdadero espectáculo susceptible de representar ante compañeros de otros grupos, o en la fiesta del centro.

Realizar trabajos de tipo taller en la construcción de "cabezudos" que representen a cada uno de los astros.

Obtención de un recurso visual para un estudio de posiciones planetarias: conjunciones, oposiciones o elongaciones mediante la grabación en vídeo del desarrollo de la actividad.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

a) Planteamiento

Se trata de reproducir los movimientos de los planetas del sistema solar simultáneamente y a una misma escala temporal para apreciar las diferencias entre unos y otros, tanto en cuanto a la órbita que recorre cada uno, como a las diferentes velocidades. Cada planeta será representado por un alumno que se moverá de la manera adecuada.

Si en la actividad anterior se trabajaba con la forma y tamaño de cada órbita y con la velocidad de un planeta según su distancia al Sol, en este caso se visualizará el movimiento conjunto de los diferentes planetas de una manera más real mediante una escenificación que además propiciará la explicación y comprensión de las diferentes posiciones planetarias.

Debido a las enormes diferencias del tamaño de las órbitas, se requiere un espacio muy grande, como el patio del centro o un descampado cercano; pero aún así será imposible representar las órbitas de todos los planetas a una misma escala sin que los más interiores queden apelotonados y perdamos las principales utilidades que se refieren a la situación y observación desde la Tierra.

Por ello hay que optar entre varias posibilidades:

- Utilizar solo los cuatro planetas más interiores, hasta Marte

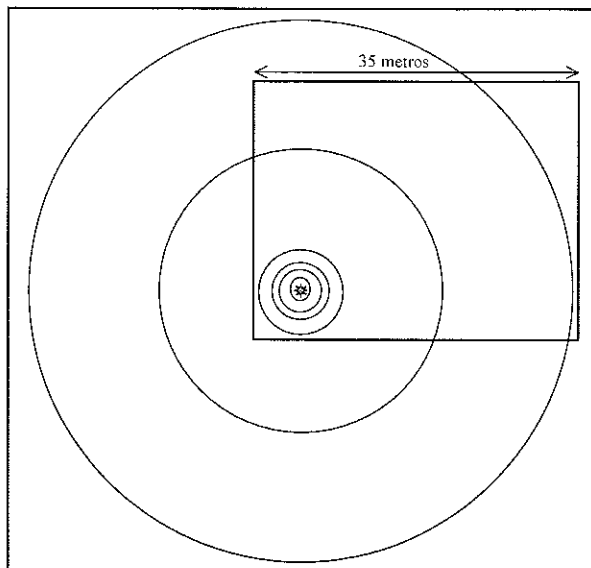
Se elegirá esta opción si se dispone solo de un espacio muy reducido

- Trazar hasta la órbita de Saturno

- Las cuatro primeras órbitas completas y parte de la de Júpiter y Saturno, teniendo en cuenta que normalmente no se necesitará la órbita completa debido al lento movimiento de estos planetas (gráfico adjunto)

Quizás sea la más interesante, y se puede realizar en un patio de unos 35 m de longitud con la escala propuesta, o algo inferior cambiando la escala.

- Trazar todas las órbitas sin mantener la escala de distancias sino solo la de tiempos.



b) Trazado de las órbitas

Empezamos eligiendo adecuadamente y marcando el lugar donde estaría el Sol. Si elegimos la tercera de las distribuciones mencionadas, con las medidas de la tabla, estaría a unos 5 metros de dos de los lados del terreno (para que quepa la órbita completa de Marte), y en el resto de los casos sería el centro del patio.

Utilizando una tiza y una cuerda a modo de compás, y tomando el centro en la posición del Sol, se trazan las órbitas circulares según las medidas del cuadro adjunto, donde r representa el radio de la circunferencia

En cualquier caso se adaptarían esas medidas al tamaño del patio con la escala adecuada para conseguir unas órbitas lo más grandes posibles.

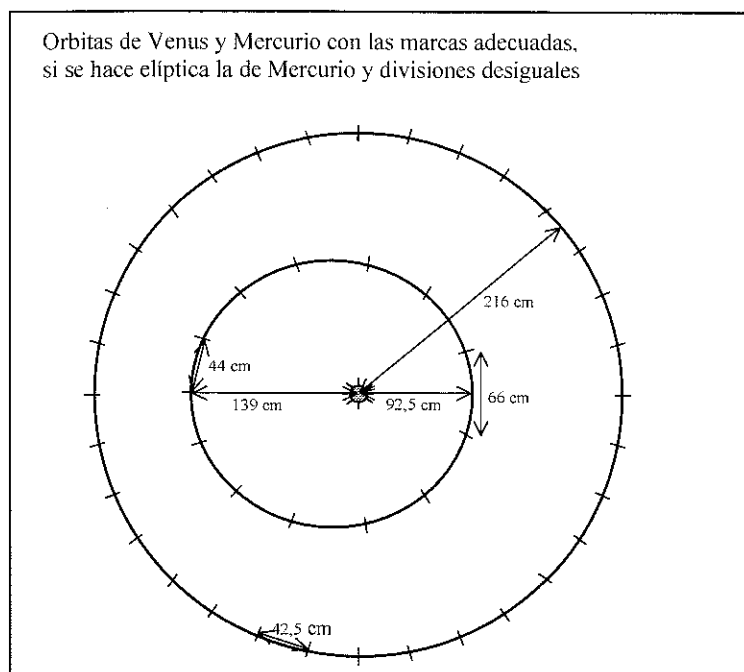
Planeta	r	L	n
Mercurio	1,16m	57cm	13
Venus	2,16	42,5	32
Tierra	3	36	52
Marte	4,6	29,5	98
Júpiter	15,5	16	620
Saturno	28,5	11,5	1540

Se trazarán las órbitas circulares porque no se pretende obtener gran precisión. Únicamente en el caso de Mercurio podría ser interesante trazar una elipse, tal como se hizo en la actividad de Las Leyes de Kepler en el suelo, con los datos que allí se dan adecuándolos a la nueva escala.

Una vez trazada cada órbita se realizan marcas sobre la misma, según el recorrido del planeta en una semana. Dicho intervalo viene dado en la tabla adjunta en la columna L , o si se prefiere el alumnado podría calcularlo de la misma manera que se cita en la actividad Las Leyes de Kepler en el suelo. Si se ha optado por hacer elíptica la órbita de Mercurio se puede modificar la longitud de los intervalos haciéndolos algo más grandes de manera progresiva cuando están cerca del perihelio, y acortándoles en el afelio. Habría que mantener el número de intervalos y, aunque no hace falta mucha precisión, el más próximo al perihelio sería de 66 cm y los dos más lejanos 44 cm.

En la tabla aparece también el número n de intervalos de cada órbita simplemente para comprobar, ya que si no se hacen los intervalos con cuidado es posible que no coincida la última marca con la primera, aparte del pequeño error que hay por no ser divisible todo el año de cada planeta en intervalos de siete días. Si esto ocurre, comprobar el número marcas, y modificar la longitud de las últimas para ajustar.

En el caso de Júpiter y Saturno, si no se dibuja la órbita completa lógicamente el valor de N no se utiliza.



c) Escenificación

Un alumno o alumna representa a cada planeta. Se colocan en un punto de la órbita, y otra persona irá marcando el ritmo con un silbato, aproximadamente un silbido cada segundo.

A cada sonido del silbato cada planeta avanza una marca recorriendo la órbita en sentido antihorario, de manera que se obtiene una visión del movimiento de todo el sistema solar desde el norte eclíptico en una escala temporal en que cada segundo es una semana.

Si se ha optado por no dibujar completas las órbitas de Júpiter y Saturno, éstos deberán colocarse al principio del tramo dibujado para que dispongan de espacio suficiente para moverse. El resto de los planetas pueden empezar en cualquier posición, o alineados para permitir comparar fácilmente la relación entre la duración de los diversos periodos de revolución, o incluso en la posición real en la fecha en que se haga la actividad para apreciar la evolución y posiciones relativas en un futuro.

Puede dejarse funcionando el equivalente a 4 o 5 años (5 vueltas de la Tierra), y repetirlo cuantas veces se quiera para incidir en circunstancias diversas.

Puede ser más interesante esta repetición que el realizar una escenificación más prolongada por el cansancio y errores que puede provocar.

Además, si se quiere incidir en alguna circunstancia concreta se puede hacer mover durante un tiempo un par de planetas o uno solo.

d) Utilidades didácticas

Aparte de la simple observación del movimiento conjunto esta simulación proporciona un recurso para ilustrar diversos conceptos:

- Diferente velocidad de cada planeta y distinta duración de su año.

Desde fuera se contaría cada vez que un planeta completa una vuelta

- Conjunciones y oposiciones planetarias.

Respecto al punto de vista de la Tierra, o incluso desde otro planeta

- Movimiento aparente del Sol sobre el fondo.

La persona que representa a la Tierra iría describiendo la posición en que ve el Sol sobre el fondo del paisaje, la valla o paredes

- Retrogradación planetaria

De la misma manera se iría reflejando la posición de Marte, y se apreciaría como cerca de la oposición se mueve en sentido contrario respecto al fondo.

- Elongaciones de los planetas interiores, y máximas elongaciones

También desde la Tierra se observa y se describe la situación.

- Si la órbita de Mercurio se ha hecho elíptica y con intervalos desiguales, se observará su diferente velocidad.

Si la posición inicial corresponde a la situación real se podrían obtener fechas aproximadas de oposiciones, conjunciones o máximas elongaciones futuras. Ello no es sencillo, pero se puede intentar si alguien se encarga en controlar el paso del tiempo y llevar un calendario, y otros van anotando situaciones concretas.

Para facilitar esta labor, incidir en determinada posición o explicar alguna circunstancia, se puede parar el movimiento, realizar la explicación y luego seguir.

Sin embargo la mejor manera de sacarle el máximo provecho a la actividad es realizar una grabación en vídeo desde un lugar elevado como puede ser la azotea o el último piso del centro escolar. Así los planetas solo se preocuparán de moverse de manera adecuada, y luego tranquilamente todo el grupo puede visualizar la grabación, el profesor realizar las explicaciones en su momento y

parar momentáneamente el vídeo y el alumnado realizar anotaciones, contestar preguntas y sacar conclusiones.

Incluso es muy interesante realizar otra grabación simultánea con una segunda cámara siguiendo a la Tierra, que nos proporcionará la visión desde nuestro planeta. Mientras la Tierra sigue su camino otra persona camina junto a ella y va grabando la posición del Sol sobre el fondo, la posición de otros planetas, y especialmente de un planeta exterior cerca de la oposición para ver su retrogradación. Las imágenes son realmente interesantes y didácticas. Aunque puede ser difícil seguir el movimiento adecuado mientras se va grabando, colocando una mano sobre el hombro de quien representa a la Tierra a modo de guía, se puede seguir su trayectoria.

Si se realizan estas dos grabaciones pueden visualizarse incluso simultáneamente en dos televisores y comparar la situación objetiva desde "fuera" con la visión desde la Tierra.

Con todo ello, y una vez realizadas las explicaciones e incluso viendo varias veces el vídeo, el alumnado puede completar algún cuestionario con preguntas del tipo de las siguientes:

- ¿Cuántas conjunciones inferiores de Mercurio se producen en un año?
- ¿Cada cuánto tiempo se producen las conjunciones superiores de Venus?.....
- ¿Cada cuánto tiempo se producen las conjunciones de Júpiter?
- ¿Y las oposiciones de Marte?..... - ¿Y las de Saturno?.....

Si se realizó también otra grabación siguiendo a la Tierra:

- Compara las distintas situaciones desde los dos puntos de vista, y observa en qué momento se produce la retrogradación de Marte
- ¿Cuánto tiempo dura la retrogradación?..... (cuenta los pitidos)

Si las posiciones iniciales se corresponden con las reales:

- ¿Cuándo se producirá la próxima oposición de Marte?.....
- ¿Y la próxima conjunción de Saturno?
- ¿Cuándo se volverá a ver a Venus por la tarde?
- ¿En qué meses se podrá ver Mercurio el año próximo?

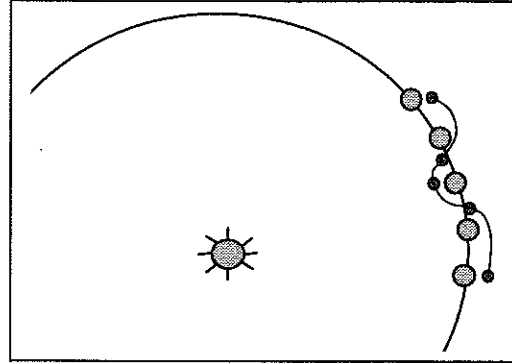
CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

Se trata de una actividad realmente interesante, vistosa y motivadora, que se puede incluso sacar del grupo y de la clase de astronomía, participando alumnos de otros grupos y despertando su afición por el tema.

Además de lo señalado anteriormente se pueden introducir una serie de elementos que darían a la actividad una mayor vistosidad o utilidad didáctica:

- Una persona puede representar al Sol, y girar sobre sí misma un cuarto de vuelta cada pitido simulando la rotación solar.

- Se puede representar también a la Luna moviéndose alrededor de la Tierra. Este movimiento no es fácil de realizar, pero si se ensaya un poco se puede conseguir un buen efecto. En cada sonido del silbato la Luna, que permanece muy cerca de la Tierra, gira un cuarto de vuelta alrededor de ésta: a su derecha, delante, a su izquierda, detrás, a la derecha ... Como la Tierra va avanzando en su órbita el movimiento de la Luna es un tanto especial: en el paso de la izquierda a atrás apenas tiene que moverse, mientras que en el siguiente tiene que avanzar rápidamente, y en ningún caso retrocede para circunvalar la Tierra.



A quienes lo observen en el momento, o luego al verlo en el vídeo se les hace ver que tomando como referencia el sistema solar, nuestra Luna en realidad va realizando un movimiento sinusoidal con velocidad variable, "cabeceando" en torno a la órbita de la Tierra.

- Si disponemos de tiempo, o como actividad extraescolar, se pueden elaborar unos cabezudos para los diferentes astros de distinto tamaño en relación al tamaño de cada uno pero lógicamente sin conservar la escala. Se pueden hacer utilizando balones hinchables rodeándoles de pasta de papel, y luego se pintarán de acuerdo a las características de cada astro, rodeando a Saturno con un anillo de cartón.

- Se pueden elaborar pancartas representando las diferentes constelaciones zodiacales que se colocarán alrededor del montaje, cada una en su lugar adecuado. Estas pancartas pueden estar formadas por letras sueltas que formen el nombre de la constelación, o podrían también sustituirse por personas que representen cada una a una estrella, y en este caso se necesitaría colaboración de alumnado de otros grupos.

Con todos estos elementos se puede realizar la escenificación para todo el alumnado del centro, por ejemplo dentro de la fiesta de fin de curso.



ÓRBITAS EN 3 DIMENSIONES

OBJETIVOS

Que el alumnado conozca los cinco parámetros orbitales que definen la posición de un astro en el espacio: los dos que definen el tamaño y forma de la órbita, y los tres que determinan la orientación espacial de la órbita.

Que los utilice de manera práctica construyendo una órbita y colocándola de manera adecuada respecto a la de la Tierra.

Que comprenda el significado exacto de cada uno de dichos parámetros.

Que visualice la distribución tridimensional de algunos astros del sistema solar y entienda por qué no pueden chocar dos astros cuyas órbitas se cruzan según la habitual representación plana.

Que conozca los diferentes grupos de asteroides NEOs y las características de cada uno de ellos.

Realizar un trabajo en equipo, en que cada grupo se encarga de una parte necesaria para completar entre todos un material de gran utilidad didáctica.

Obtener una maqueta que permite visualizar y entender los peligros reales de choques de asteroides contra la Tierra, las probabilidades, posibles fechas y circunstancias geométricas de dichos impactos.

Que el alumnado se motive ante la frecuente aparición en los medios de comunicación de noticias de posibles choques de asteroides con la Tierra, y encauce esa motivación en una predisposición hacia el trabajo en el aula.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

a) Planteamiento

Si en la actividad de Las leyes de Kepler se trabajaba con los dos parámetros básicos que determinan el tamaño y la forma de la órbita de un astro alrededor del Sol, en este caso se profundiza algo más en el estudio de las órbitas teniendo en cuenta aspectos que, aunque en principio puedan parecer demasiado ambiciosos, son perfectamente comprensibles por el alumnado si se utiliza una metodología adecuada y motivadora.

El objetivo final, o mejor dicho la excusa para realizar esta actividad, es la elaboración de una maqueta en tres dimensiones de las órbitas de varios asteroides cercanos a la Tierra; y el punto de partida que debe motivar al

alumnado para realizar la tarea será alguna de esas noticias que surgen a menudo en los medios de comunicación sobre un asteroide que pasó muy cerca de la Tierra o que tiene peligro de chocar con ella en el futuro. Conviene guardar algunas de estas noticias para leer en clase cuando vayamos a hacer la actividad.

La principal justificación didáctica está en la comprensión y el manejo de los 5 parámetros que determinan el tamaño, forma y posición de la órbita de un astro en el sistema solar. El alumnado ya habrá trabajado con dos de estos parámetros (la distancia media al Sol y la excentricidad) en la mencionada actividad de las leyes de Kepler, y en el caso de los planetas se hace difícil explicar y manejar los otros 3 (inclinación, longitud del nodo y argumento del perihelio) debido a la pequeña inclinación de las órbitas planetarias. Por ello puede ser adecuado utilizar los asteroides cercanos a la Tierra, ya que en este caso las inclinaciones suelen ser elevadas permitiendo visualizar mejor los mencionados parámetros, con el valor añadido de la motivación que proporcionan las citadas noticias sobre posibles choques con la Tierra.

Los parámetros orbitales (los 3 últimos aparecen en el gráfico adjunto) son los siguientes:

- Semieje mayor a
- Excentricidad e
- Argumento del perihelio ω

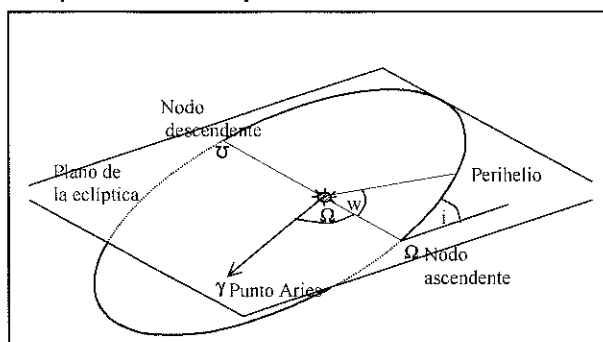
Angulo desde el perihelio al nodo ascendente Ω (punto de la órbita que atraviesa el plano de la eclíptica del Sur hacia el Norte)

-Longitud del nodo ascendente Ω : Angulo desde el punto Aries hasta el nodo ascendente. (Tanto el nodo ascendente -que es un punto-, como su longitud eclíptica -un ángulo- se suelen designar de la misma manera: Ω)

-Inclinación de la órbita i : Angulo de inclinación respecto al plano de la eclíptica. Conviene trabajar por parejas, aunque se puede hacer individualmente con ayudas puntuales de algún compañero-a, o por grupos mayores. Cada pareja se encargará de realizar con alambre la órbita de un astro y de colocarla luego de manera adecuada. Sugerimos realizar las órbitas de los tres asteroides que dan nombre a cada familia de NEOs : Amor, Aten y Apolo, y además otros que puedan ser interesantes, como Icaro (el que más se acerca al Sol), Eros (el más famoso) y alguno de los que hayan aparecido en las últimas noticias.

Los parámetros orbitales de estos asteroides son los siguientes:

ASTEROIDE	A	e	ω	Ω	i
Eros	1,46	0,22	178,6	304,4	10,8
Amor	1,92	0,43	26,4	171,4	11,9
Aten	0,97	0,18	147,9	108,6	18,9
Apolo	1,47	0,56	285,8	35,8	6,4
Icaro	1,08	0,83	31,3	88,1	22,9
2002NT7	1,74	0,53	300,6	132,2	42,3



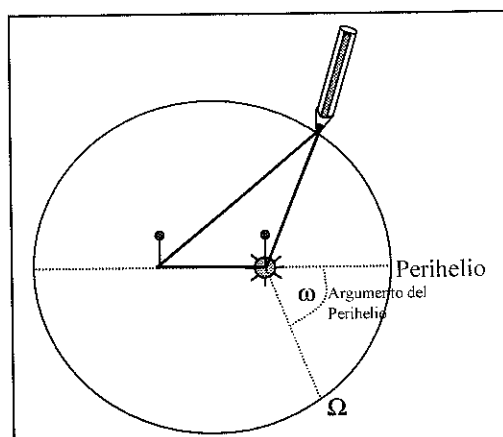
Y se pueden obtener más en la dirección de internet:
<http://neo.jpl.nasa.gov/orbits/>

Quizás antes de emprender este trabajo conviene conocer algo sobre estos asteroides N.E.O. (Near Earth Objects) potencialmente peligrosos, los diferentes grupos en que se suelen clasificar según el tamaño de su órbita, las características orbitales generales de cada uno de ellos, los proyectos que existen para localizarlos y controlarlos, y otras cuestiones interesantes y motivadoras que se pueden buscar en internet. En la página mencionada pueden encontrarse también otros datos como el tamaño, aspecto importante de cara a evaluar las consecuencias de un posible choque.

Conviene manejar las distancias en unidades astronómicas, tal como viene dado en la tabla el semieje mayor. Para realizar las órbitas una escala adecuada puede ser 10 cm la unidad astronómica, que nos permitirá situar en un cartón de 50x70 (el cartón pluma es lo más adecuado) las órbitas de los planetas hasta Marte, y en el que insertaremos las de los asteroides realizadas en alambre.

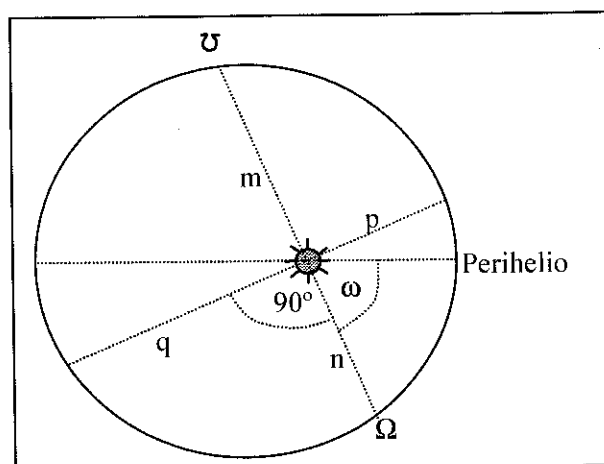
b) Elaboración de las órbitas

- En un papel DIN A3, y colocando por debajo una plancha de porexpán, cada pareja dibuja la elipse de la órbita de su astro con ayuda de dos alfileres pinchadas sobre el porexpán y un hilo, utilizando los datos de la distancia media al Sol a y la excentricidad e de la misma manera que se trazaban las elipses en la actividad de las leyes de Kepler. El papel puede recortarse un poco por fuera de la órbita.



-Una vez obtenida la elipse se mide el ángulo del argumento del perihelio ω desde la posición del perihelio en sentido retrógrado, y se obtiene la posición del Nodo ascendente Ω .

- Prolongando la línea en sentido contrario se traza el otro nodo y se miden las distancias n y m desde el Sol a cada uno de los nodos, así como p y q , distancias del Sol a los puntos de la órbita contenidos en la perpendicular a la línea de los nodos.



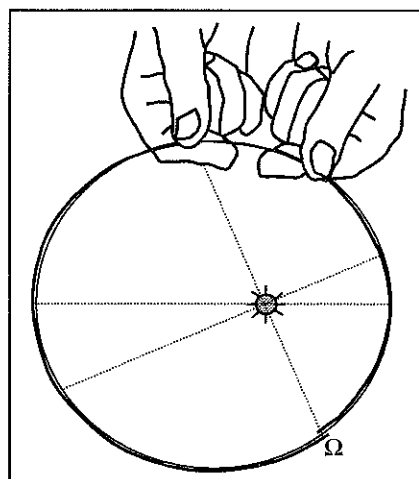
Los valores de n y m son importantes porque su mayor o

menor proximidad a 1 U.A. (10 cm) nos darán el índice de peligrosidad determinado por la cercanía de su órbita con la de la Tierra en el momento de cruzar la eclíptica. Una vez obtenidos estos dos valores en cada una de las órbitas se puede hacer una clasificación de los asteroides utilizados, según su peligrosidad como se explica luego.

Los valores p y q se utilizarán para la elaboración de sendos soportes que mantengan la órbita con la inclinación adecuada según se verá más adelante.

- Partiendo del nodo ascendente Ω , se realiza la órbita con alambre utilizando la plantilla de papel.

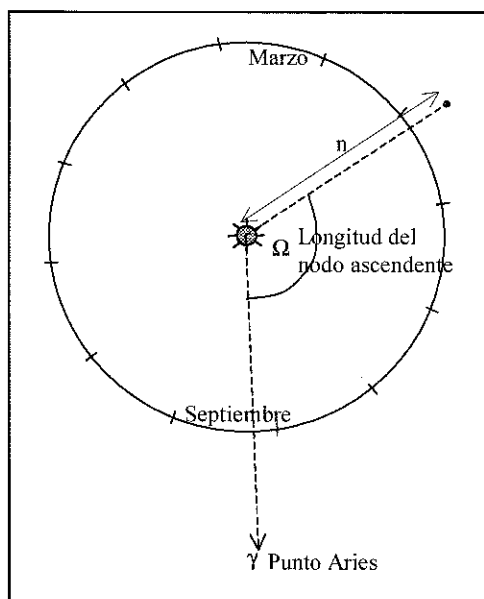
El ajuste del alambre para obtener la forma adecuada en ocasiones se hace difícil, pero es cuestión de cogerle el punto. Una vez que se practica un poco siempre hay algunos-as alumnos-as que dan con el método adecuado (ir doblando poco a poco de manera natural y no seguir hasta que el tramo anterior esté bien) y lo pueden enseñar a los demás.



Es importante que el comienzo y final del alambre coincida con uno de los nodos (tomaremos como referencia el ascendente) para que el empalme quede oculto en el cartón de la eclíptica, y se pueden dejar unos milímetros más por cada extremo solapándose.

c) Colocación de las diferentes órbitas

- Una vez obtenida cada órbita en alambre, está preparada para insertarla en el plano de cartón de la eclíptica con las órbitas de los planetas que puede haberse realizado previamente, o simultáneamente por otro grupo o pareja de alumnos-as. Estos habrán trazado sobre el cartón, y por el mismo método de los alfileres y el hilo, las elipses de las órbitas de Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, con los datos de la tabla usada en la actividad sobre las leyes de Kepler, pero con la escala indicada para las órbitas de los asteroides. En la órbita de la Tierra se marcan los intervalos de cada mes teniendo en cuenta que el perihelio coincide con el 3 de enero.

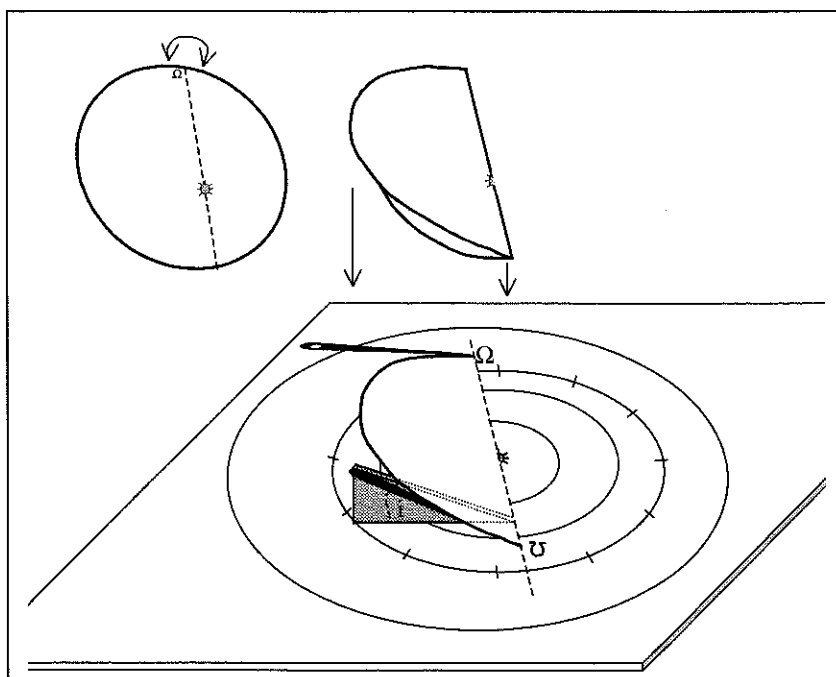


- En esta base común de cartón cada grupo marcará la posición del nodo ascendente su asteroide. Primero se marca el punto vernal que corresponde con la posición del Sol visto desde la Tierra el 21 de marzo, es decir con la posición de la Tierra el 23 de

septiembre. A partir de este punto y en sentido directo se mide el valor de la longitud del nodo ascendente del asteroide, y donde acabe este ángulo, a una distancia n del Sol, se marca la posición que ocupará el nodo ascendente en el plano de la eclíptica. Así mismo en la dirección opuesta, y a una distancia m se marcará la posición del nodo descendente.

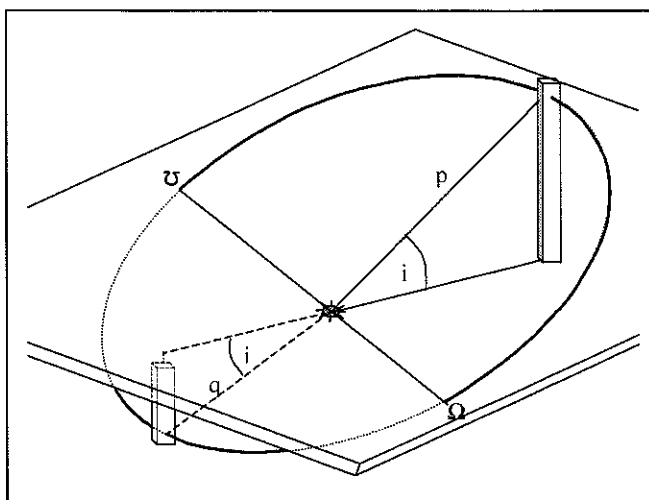
- Se hace una pequeña cuña de cartón con un ángulo igual a la inclinación de la órbita.

- Con una aguja gruesa (tanto como el alambre) se realizan dos agujeros en el cartón en los puntos correspondientes a los nodos, por donde se pasará la órbita de alambre. Para realizar estos agujeros de manera que se ajusten lo mejor posible a la posición de la órbita, hay que tener en cuenta tanto la inclinación



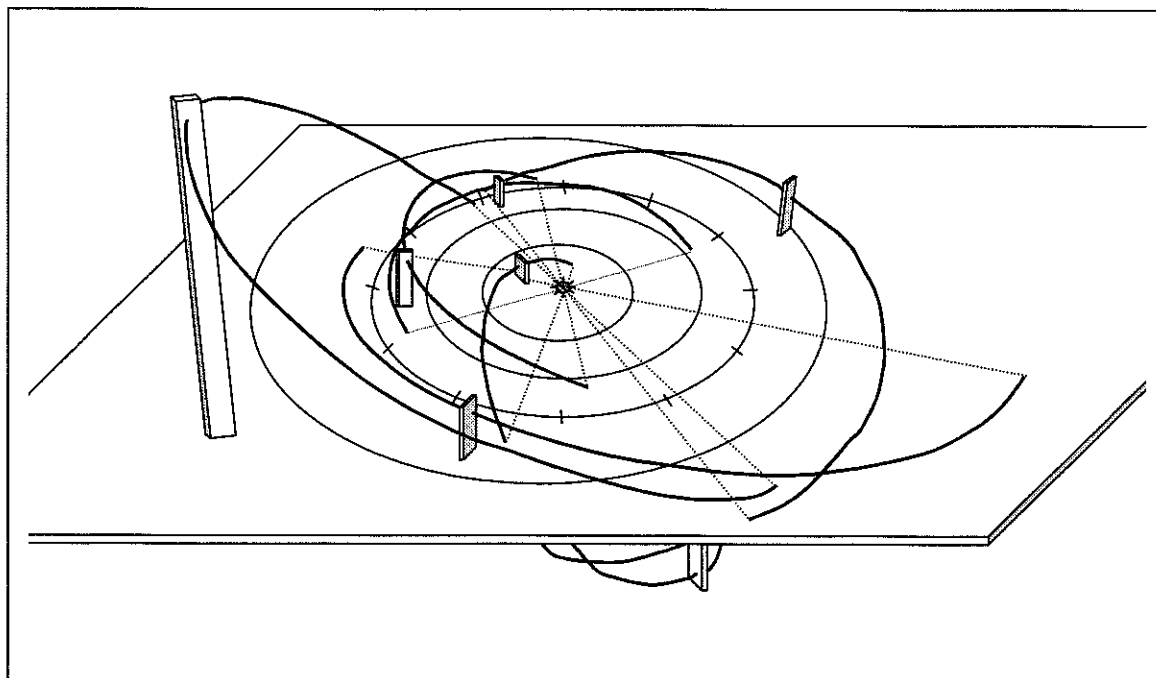
como la dirección (que no es necesariamente perpendicular a la línea de los nodos que indica la arista de la cuña). Para ello se toma la órbita inicial en papel recortada; se dobla por la línea de los nodos, se colocan estos en su posición real y se apoya en la cuña de la inclinación pero con la dirección de la órbita del papel. De esta manera se ven las direcciones adecuadas en las que hay que perforar el cartón.

- Una vez perforados los dos agujeros en los nodos, se introduce la órbita de alambre y se coloca en su posición correcta. La unión de los dos extremos del alambre quedará oculta en el grosor del cartón junto al nodo ascendente. Normalmente el alambre no se mantendrá con la inclinación exacta, y conviene colocar dos soportes de cartón, uno en la parte superior y otro en la inferior, a 90° de los nodos.



Para calcular la altura del soporte se tiene en cuenta la inclinación y los valores p y q medidos en la órbita de papel. A la altura del soporte inferior hay que restarle el grosor del cartón, ya que la eclíptica corresponde a la parte superior de dicho cartón.

- Se colocan de esta manera cada una de las órbitas y se obtiene el resultado final



CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

Aunque esta actividad no sea básica o fundamental en el estudio del sistema solar a nivel de la E.S.O., y posiblemente algunos alumnos no lleguen a comprender totalmente el significado de todos los parámetros orbitales, no deja de ser interesante realizarla porque el hecho de manejar estos parámetros y, aunque sea con la ayuda y guía del profesor, poder realizar la maqueta, le hará ver la utilidad o necesidad de los mismos para obtener y situar las órbitas.

Además una vez obtenida la maqueta, y con su simple observación, el alumnado puede deducir fácilmente una serie de resultados interesantes y motivadores, como son la posibilidad de evaluar el peligro de impacto de cada asteroide, la posible fecha del futuro impacto (se puede ver el día y mes aunque no el año), el hemisferio terrestre que recibirá el choque, e incluso las posibilidades de ángulo de incidencia y la velocidad relativa a la que caerá.

Estas deducciones o información que se pueda obtener tienen el valor de la motivación que provoca, y la posibilidad de obtenerlo puede llevar al alumnado a interesarse por la dinámica, movimientos y órbitas de estos cuerpos.

- Fechas posibles de impacto de cada asteroide. Puede parecer curioso que en las noticias que aparecen de posibles futuros choques con la Tierra suelen darse fechas exactas, aún con baja probabilidad de impacto, y si no se cumplen, otras más alejadas en el tiempo pero en todas ellas coincide el día y el mes. Esto ocurre así porque el asteroide se acerca a la órbita de la Tierra en un punto muy concreto de ésta y, de chocar, sería cuando la Tierra pase por ahí; que será en un día y mes concreto aunque no se conozca el año. La situación es la misma que las lluvias de meteoros, que ocurren siempre en la misma fecha.

Una vez señalados los meses en la órbita de la Tierra se puede ver en la maqueta en qué fecha, más o menos, se aproxima cada una de las órbitas: Por ejemplo Eros a finales de enero, Amor hacia el 10 de marzo, Apolo a finales de abril, Icaro a mediados de junio, Aten hacia el 8 de Enero o 2002NT7 el 1 de Febrero.

- Entre los asteroides representados se puede ver cuáles son los que tienen más peligro de una futura colisión con la Tierra. La mayor o menor proximidad de la órbita, que se apreciará directamente en la maqueta, nos permitirá determinar los asteroides más peligrosos. Aunque para que el choque se produzca la coincidencia debe ser exacta, cuanto más cerca estén mayor probabilidad de que la atracción gravitatoria de otro astro la acerque a la órbita terrestre.

Tal como se mencionó, este aspecto se puede analizar antes de acabar la maqueta, una vez trazada en cada órbita la línea de los nodos y medidos los dos valores n y m . Cuanto más próximos estén a una Unidad Astronómica, más cerca pasarán de la órbita terrestre. Con los 6 asteroides elegidos la clasificación sería: El más peligroso 2002NT7 con 0.97. Luego Aten con 1.1, seguido de Apolo con 0.88, Eros con 1.13 y Amor 1.17

- En cada caso, se puede analizar en qué hemisferio terrestre se podría producir la colisión con mayor probabilidad. Si el valor próximo a 1 corresponde a la longitud de n el asteroide vendría desde el Sur eclíptico ya que corresponde al nodo ascendente, y si es m el impacto nos vendría desde el Norte.

- Posibles ángulos de incidencia y mayor o menor velocidad de impacto. Según la inclinación y la dirección de la órbita en las proximidades de los nodos similar a la de la Tierra o diferente.

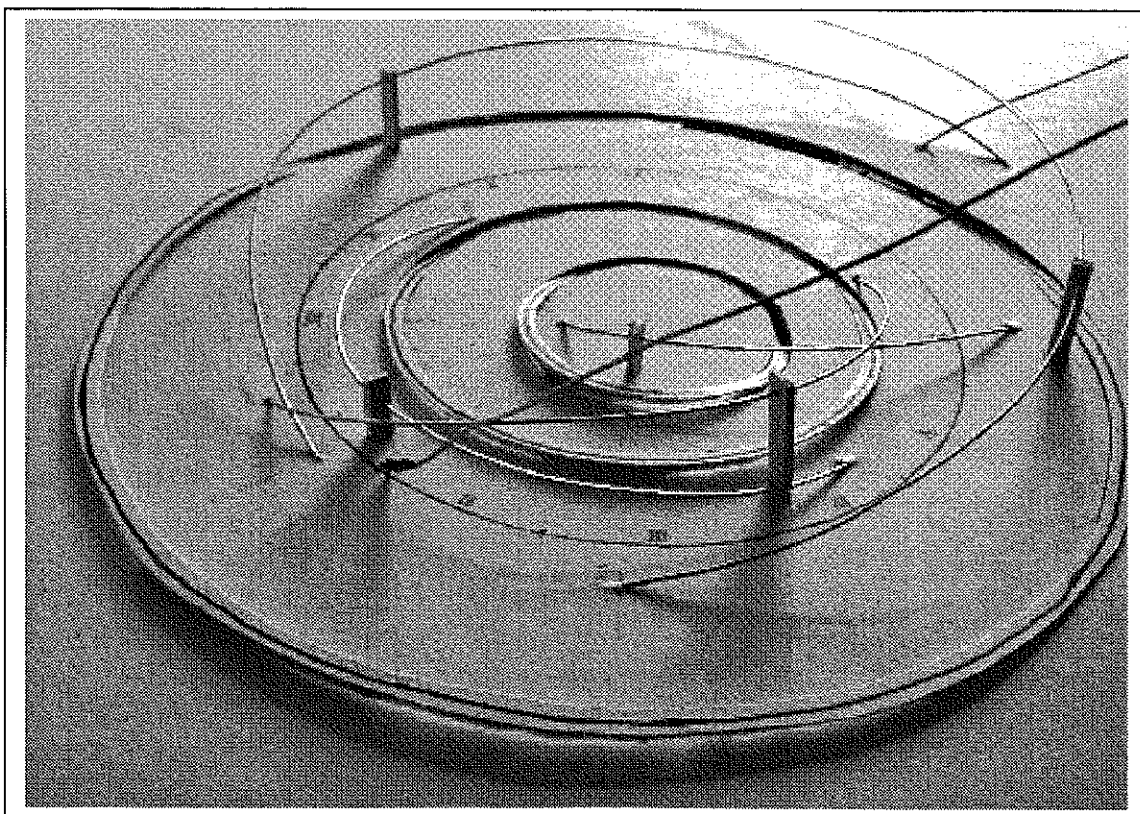
- Analizar posibles situaciones de impacto según la hora en que se produzcan. Considerando la hora y el hecho de alcanzar la Tierra de pleno o de refilón por delante o por detrás se puede elucubrar sobre posibles zonas y circunstancias de impacto.

Un ejemplo de un análisis de este tipo podría ser:

De los seis asteroides con los que se ha trabajado, el que tiene mayor peligro inminente, tal como se he dicho, por cercanía de su nodo a la órbita terrestre es 2002NT7, que con una pequeñísima variación de su órbita muy probablemente les caerá encima a los pobrecitos habitantes del hemisferio Sur con un ángulo de incidencia muy alto y una velocidad mayor que otros de los aquí representados, un atardecer del día 1-2-???? (hay otras soluciones de impacto con menor probabilidad, como caída con un ángulo casi rasante a mediodía o medianoche, o ...).

Del resto de asteroides analizados también es relativamente peligroso Aten que caería en los días siguientes a la festividad de Reyes en el hemisferio Sur con una velocidad menor que el anterior, y que aunque ahora su órbita no está tan próxima, el paso por las cercanías de la de Venus podría alterarla haciéndole más peligroso. Apolo podría caer también en el hemisferio sur pero con una velocidad mucho menor que los demás ya que alcanza a la Tierra desde atrás en su trayectoria alrededor del Sol. Y aunque en cuarto lugar, debido a su gran tamaño la mayor amenaza destructiva viene de Eros, que podría caer en el Hemisferio Norte por la tarde de un 22 de enero, o rozarnos al mediodía o medianoche.

En todas estas cuestiones lo importante no es la exactitud de los resultados, sino las posibles discusiones y el juego que dan, al deducirlas de la observación y análisis de la maqueta, lo que lleva a profundizar en las características orbitales.



Otro aspecto de este trabajo que se puede mejorar es lo relativo a las órbitas de los planetas. Aunque están muy próximas al plano de la eclíptica pueden hacerse también en 3 dimensiones, pero no con alambre, sino cortando anillos de cartón que contengan las correspondientes elipses, tal como se ve en la fotografía. En la base de cartón se corta una ranura de la media elipse correspondiente al hemisferio sur eclíptico de cara órbita planetaria, y se colocan los anillos adecuadamente de manera que la mitad correspondiente de la órbita quede hundida en el corte realizado y con la inclinación adecuada, como se aprecia en la imagen.

En este caso además del semieje mayor y la excentricidad, ya conocidos de la actividad 1, hay que utilizar los datos de esta tabla.

	Arg. Perih.	nodo asc.	Inclinac.
Mercurio	29	48,4	7
Venus	54,7	76,2	3,39
Marte	285,9	49,2	1,85

Si se hace de esta manera nos permitiría:

- Visualizar las posiciones de los nodos de Mercurio y Venus, determinar las fechas (días y meses) de los posibles tránsitos, y latitudes eclípticas que favorezcan la observación de estos planetas en cada hemisferio.

- Apreciar la pequeña inclinación de las órbitas planetarias comparadas con las de estos asteroides NEOs. En realidad los que en principio hubieran tenido órbitas similares pero de muy baja inclinación ya desaparecieron al chocar con los planetas.

ASTROS COORBITALES

OBJETIVOS:

Que el alumnado se motive y despierte su curiosidad tras el conocimiento de la existencia de astros con un comportamiento muy extraño y diferente a lo habitual.

Que entienda el significado y realidad de los movimientos de los pseudosatélites.

Que razone, discuta (con los datos que se le proporcione) y tome partido ante la posibilidad de considerar la existencia de otros satélites naturales de la Tierra.

Que entienda las diferencias entre las órbitas reales y las posiciones relativas observadas desde otros astros.

Que conozca la existencia de los puntos de equilibrio gravitatorio de Lagrange.

Que entienda el papel de la interacción gravitatoria en los extraños movimientos de los astros coorbitales.

Que sea capaz de escenificar los movimientos de los astros coorbitales.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

a) Planteamiento

Una vez realizado un completo recorrido por las características orbitales y de los movimientos de los astros del sistema solar, esta actividad se plantea como una posibilidad opcional de estudiar casos concretos de astros que se comportan de una manera muy "especial".

Realmente estos astros coorbitales constituyen uno de los aspectos más curiosos, entretenidos y motivadores que uno se pueda encontrar, capaces de captar el interés del alumnado desmotivado si encontramos algún modo de explicárselo.

El estudio de los movimientos de algunos de estos astros, con la complejidad que pueden presentar, no se justifica por la obtención de unos conocimientos que en algunos casos exceden el nivel al que va dirigido este trabajo, sino por las sorprendentes circunstancias que se producen y que pueden suponer en el alumnado una motivación extra y unas ganas de investigar.

Es por ello, que antes de decidir realizar la actividad conviene valorar la adecuación y objetivos que se pretende con ella, y las características del grupo.

Se puede comenzar por plantear algunos aspectos interesantes como punto de partida:

- Algunos astrónomos consideran que nuestro planeta tiene dos lunas e incluso tres considerando un descubrimiento reciente. Otros opinan que estos astros no son satélites.
- Existen dos satélites de Saturno cuya atracción mutua les protege periódicamente de un aparentemente inevitable choque en el último momento haciéndoles intercambiar sus órbitas.
- Hay numerosos asteroides que comparten órbita con Júpiter, pero sin peligro de choque, manteniéndose siempre casi a la misma distancia de este planeta.

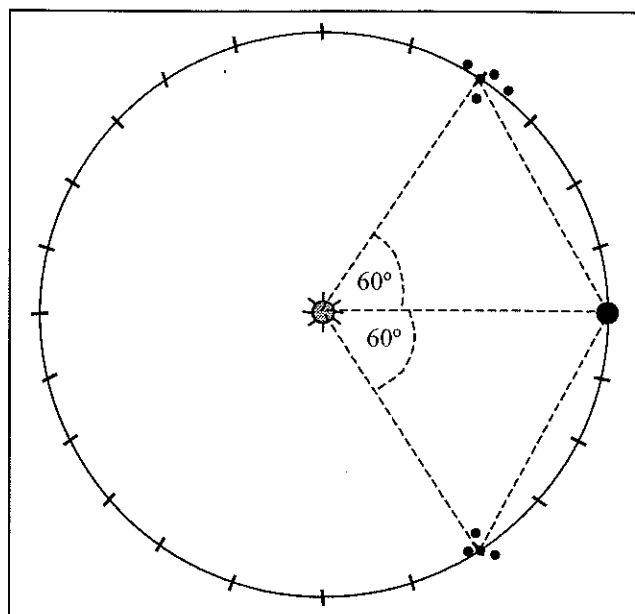
El interés que puede surgir de estas cuestiones, tan diferentes a lo que están acostumbrados a oír, puede reforzarse si utilizamos metodologías atractivas; y las preguntas que se hagan buscando los motivos de tan extraño comportamiento les puede acercar a la física de manera amena sembrando vocaciones científicas.

En general los astros coorbitales son cuerpos celestes que comparten una misma órbita u órbitas similares. Se proponen 4 ejemplos diferentes, cuyas características básicas se explicarían en clase, se propondría al alumnado la búsqueda de más información en internet, y se realizaría una escenificación al estilo de la actividad de La Danza de los Planetas.

b) Asteroides troyanos.

Son dos grupos de asteroides que giran alrededor del Sol en la órbita de Júpiter unos 60° por delante y por detrás de este planeta, en los llamados puntos de estabilidad gravitatoria de Lagrange. Se les llama troyanos porque se les ha dado nombres de personajes de la guerra de Troya.

Al igual que en la actividad de La Danza de los Planetas se dibuja en el suelo una circunferencia de varios metros de diámetro que representa la órbita de



Júpiter y se trazan unas cuantas marcas a intervalos regulares sobre ella. En este caso no importa el tamaño de la órbita ni el número de marcas porque no tenemos otros planetas con los que ajustar la escala y el intervalo de tiempo, aunque por dar una referencia el radio podría ser de 2 metros, con 24 marcas a intervalos de 52,5 cm. En el centro estaría el Sol, un alumno-a que representa a Júpiter se coloca en un lugar determinado de la circunferencia, y aproximadamente 60° delante y

60° detrás (4 marcas si en total son 24) se colocan dos grupos de alumnos-as que representan los asteroides troyanos. A cada toque de silbato se mueven una marca. En cada uno de los grupos una persona se preocupa de seguir las marcas y el resto simplemente de moverse cerca de éste, ya que en la realidad las posiciones no son exactas a 60°.

A medida que van moviéndose las posiciones relativas de Júpiter y los asteroides se mantienen.

c) Jano y Epimeteo

Jano y Epimeteo son dos de los satélites más interiores de Saturno, cuya órbita es muy parecida, siendo la diferencia entre los radios de las órbitas menor que el tamaño de estos astros.

El de órbita y periodo menor (por ejemplo Epimeteo) va más deprisa y se acercará poco a poco al otro ... hasta que el choque parece inevitable.

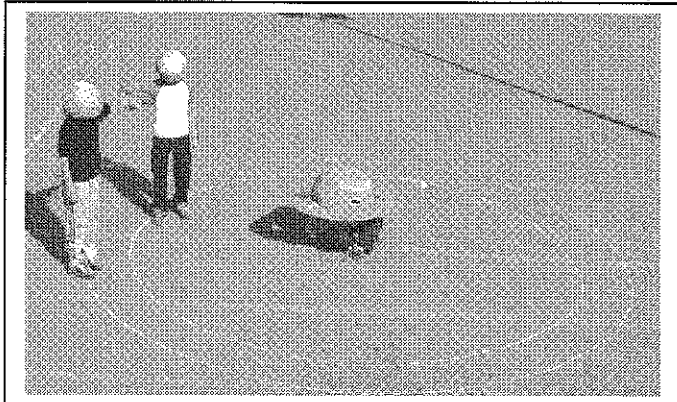
Pero en ese momento la fuerza de atracción gravitatoria mutua, en vez de acelerar el choque... ¡¡ les protege !!

Efectivamente, Epimeteo es atraído por Jano que se encuentra delante; su velocidad aumenta, lo que le hace salir a una órbita más externa, justamente la que ocupaba Jano; el cual al acercarse Epimeteo por detrás ve frenado su movimiento y cae a la órbita interior que ocupaba Epimeteo.

Ahora Jano, situado en la órbita interior va más deprisa, y después de unas cuantas vueltas se acercará por detrás a Epimeteo, volviendo a interactuar y retornará cada uno a su órbita anterior.

Para escenificar la situación se trazarán dos circunferencias concéntricas, una un poco mayor que la otra, por ejemplo de radios 2 y 2,5 metros. En la interior se marcan 20 intervalos cada 63 cm y en la exterior 26 marcas, a cada 60,5 cm. No se mantienen las proporciones reales de las órbitas ni la escala de tiempo, y solo se pretende visualizar la dinámica del movimiento.

En el centro estaría Saturno, y dos alumnos-as representan a Jano y a Epimeteo. Como antes, a cada toque de silbato se mueven una marca, y cuando se acerquen uno al otro extienden los brazos, se agarran de la mano dando un tirón (que simula la atracción gravitatoria mutua) de manera que intercambian su órbita. El proceso continúa hasta que la vuelvan a intercambiar al menos otra vez varias vueltas después.

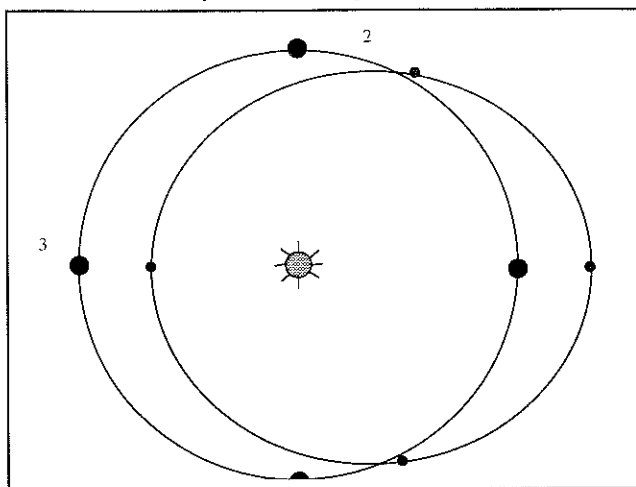


Tampoco es imprescindible trazar las marcas en la órbitas ni tocar el silbato, si se explica a los alumnos como deben moverse aproximadamente; primero uno más rápido que el otro, luego más lento, ...

d) Asteroide 7353 Cruithne.

Se trata de un asteroide cuya órbita es más excéntrica que la de la Tierra, pero su semieje mayor (y por tanto su periodo) muy similar aunque no exactamente igual.

Cuando Cruithne y la Tierra se encuentran en lugares opuestos respecto al Sol, cada uno va a lo suyo, girando alrededor del Sol en su órbita. Pero tras muchas vueltas se van aproximando, y entonces desde la Tierra se le ve dando vueltas a nuestro alrededor, una cada año, por lo que algunos lo consideran el segundo satélite natural de la Tierra, aunque técnicamente se trata de un pseudosatélite. Primero está por fuera (1), luego por detrás (2), luego por dentro (3) y luego por delante.

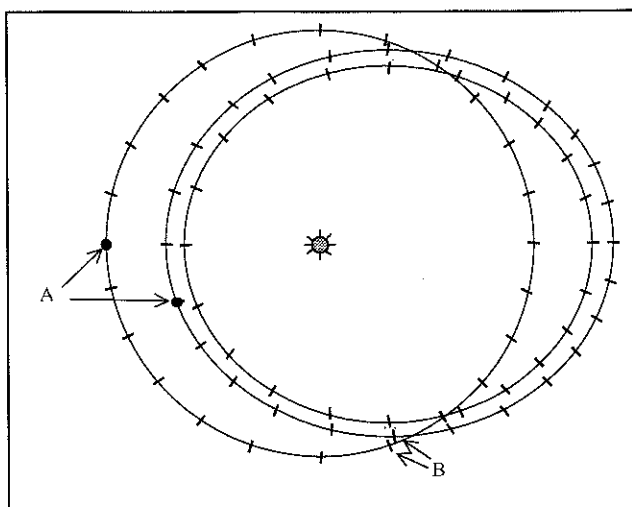


Incluso La Tierra actúa gravitatoriamente sobre Cruithne de la misma manera que Jano y Epimeteo, alterando su órbita y evitando en ocasiones que se marche, y en otras que se ponga a nuestra vera. De los dos nodos uno está muy cercano a la órbita de nuestro planeta, y cuando se acerca por ahí la Tierra lo "atrapa" o lo "aparta" cambiando ligeramente el tamaño de su

órbita. Pero en el nodo lejano no tiene suficiente efecto de atracción y es por ahí cuando se cuela o se va de nuestra compañía.

Para escenificar la situación se trazaría una circunferencia de radio 2 m que representa la órbita terrestre, y dos elipses de excentricidad $e=0.3$ y semiejes mayores 2,10 y 1,90 por ejemplo, siendo todas las medidas orientativas, ya que también en este caso los valores no se ajustan estrictamente a la realidad y solo se pretende visualizar la situación.

En la órbita de la Tierra se hacen 24 marcas, una cada 52,5 cm. En la elipse mayor 26 marcas y en la pequeña 22, tal como se ilustra en el gráfico.



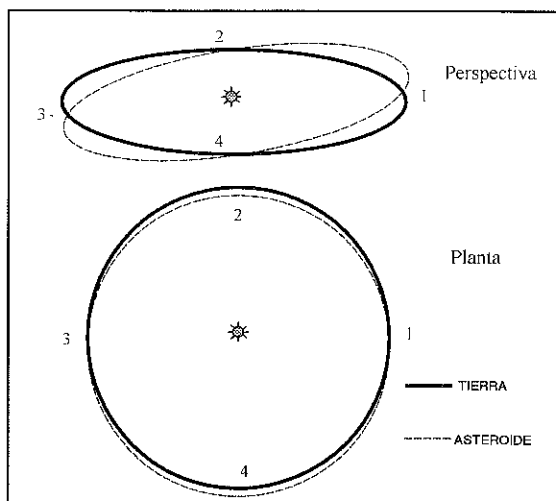
Se colocan dos alumnos, uno representando a la Tierra y otro a Cruithne en las posiciones (A) marcadas en el gráfico. A cada toque de silbato se moverán una marca. Como el asteroide se mueve un poco más despacio que la Tierra, después de una vuelta y cuarto se aproximarán en las posiciones (B). En este momento quien represente a la

Tierra alarga el brazo agarrando a Cruithne y le frena metiéndolo en la órbita elíptica pequeña, continuando el proceso y moviéndose ahora el asteroide más deprisa.

Al principio se verá que el asteroide en su camino alrededor del Sol va rodeando a la Tierra como un satélite, pero después de varias vueltas se aleja y se mueve siempre lejos de ella.

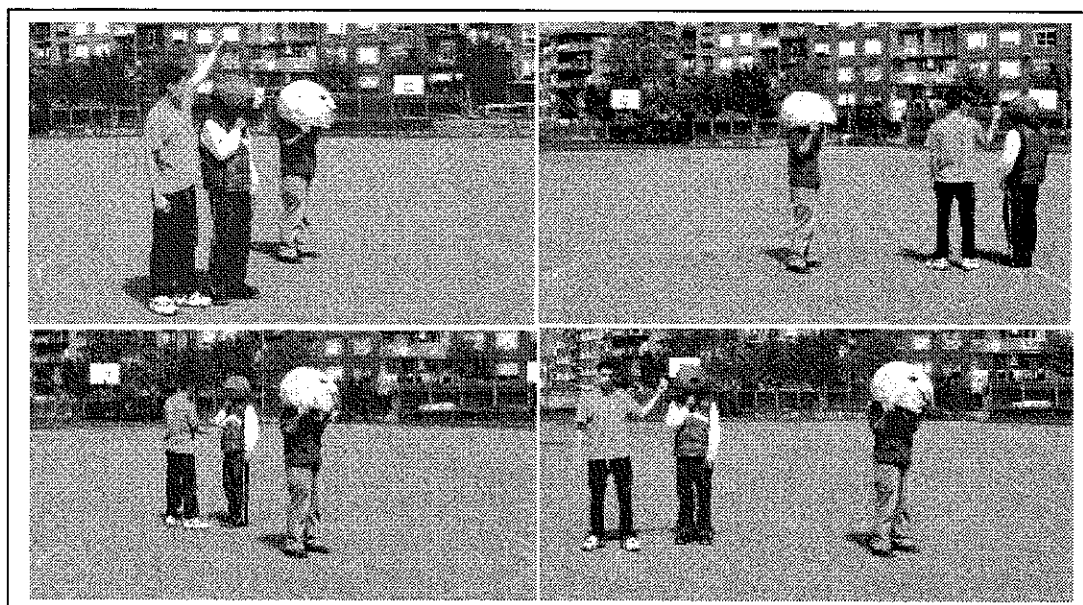
e) Asteroide 2002AA29

Se trata de otro asteroide pseudosatélite de la Tierra, en realidad una roca de 100 m, que se comporta de manera parecida a Cruithne, pero en este caso la órbita es mucho más parecida a la de la Tierra, y únicamente debido a la diferente inclinación, hay periodos en que desde aquí se la ve dando vueltas a nuestro alrededor pero en un plano casi perpendicular a la eclíptica !!



A veces está por arriba (1), ... luego por dentro (2) ... luego por abajo (3)... y luego por fuera (4).

La simulación se puede hacer en este caso moviéndose la Tierra y el asteroide sobre dos órbitas circulares iguales desplazadas ligeramente como en el gráfico (representarían a dos elipses de muy poca excentricidad y los ejes en diferente posición). La Tierra es representada por un balón movido por un alumno, o un cabezudo como en las fotos. El asteroide por una esfera de porexpan movida por otro alumno que la lleva a diferente altura.



También en este caso la atracción de la Tierra en determinados momentos cerca de los nodos cambia el tamaño de su órbita obligándola a marcharse o evitando que se escape, de manera que la mayoría del tiempo ambos astros se encuentran muy distantes. Sin embargo esta interacción o ausencia de ella va cambiando al variar ligeramente con el tiempo las posiciones relativas de las dos órbitas, y no es fácil de representar. Proponemos al lector la posibilidad de investigar el tema y adoptar alguna solución para la escenificación de este aspecto.

CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

En las escenificaciones se trata de visualizar los movimientos y entender la mecánica de los mismos, pero sin entrar demasiado en los detalles, y no se mantienen en absoluto las escalas temporales y espaciales. En los casos de los satélites Jano y Epimeteo o de los asteroides Cruithne y 2002AA29, los periodos de tiempo y el número de revoluciones que tienen que pasar hasta que se produce una interacción gravitatoria son muy elevados. En estas simulaciones se acortan de manera exagerada para entender el proceso.

No es sencillo que las escenificaciones salgan bien a la primera, sobre todo en las interacciones y cambios de órbita. A veces hay que repetirlas o ensayar los detalles, pero ello conlleva una mejor comprensión de la situación por el alumnado.

Un grabación en vídeo y su visualización por todo el grupo será más útil que la propia escenificación al apreciar los movimientos desde fuera.

Si se quiere trabajar más con los dos pseudosatélites terrestres se puede realizar una maqueta tridimensional junto con la órbita de la Tierra de manera similar a la actividad "Orbitas en 3 dimensiones". Los parámetros orbitales se pueden encontrar en la misma página web mencionada antes.

BIBLIOGRAFIA

- E. Esteban, J. Sarasola, I. Fernández, *Taller de Astronomía*, Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria, 1998.
- E. Esteban, *Las leyes de Kepler en clase*, Universo, 14, pp. 72 Barcelona, 1996.
- Grupo Azarquiél, *Astronomía en la escuela*, Ayuntamiento de Madrid, Madrid, 1986.
- M. Kidger, *Cuerpos menores*, Tribuna de Astronomía, 142, pp. 47, Madrid, 1997.
- Observatori astronomic de Mallorca, *Objetos cercanos*, Astronomía, 42, pp. 38, Madrid, 2002.
- <http://neo.jpl.nasa.gov/orbits/>
- <http://www.astrored.net/nueveplanetas/solarsystem/janus.html>



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados. También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente colección.

Más información en www.apea.es

