



UNIDAD 5:

LAS LEYES DEL MOVIMIENTO PLANETARIO

Autor: Oswaldo González

Revisión y actualización de contenidos: Nayra Rodríguez, Alejandra Goded

Asesor Científico: Alfred Rosenberg

Ilustraciones: Inés Bonet

Los orígenes de la astronomía

Los orígenes de la astronomía se encuentran en los tiempos en que las criaturas casi humanas miraron a la Luna y a las estrellas y se preguntaron qué eran. Los humanos primitivos se alimentaba de lo que podía recolectar de la tierra y de la caza de animales. En algún momento, comenzaron a preguntarse cuándo llegaría la época de recolección o cuándo se producirían los movimientos migratorios de las grandes manadas de animales. Fue así, poco a poco, buscando la respuesta a esas preguntas, como el ser humano aprendió a relacionar los acontecimientos del mundo que le rodeaba con los cambios que observaba en el cielo. Posiblemente, fue entonces cuando aparecieron los primeros calendarios, relacionados con los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas. Observaron que el Sol salía y se ponía aproximadamente por los mismos sitios todos los días. Pero se dieron cuenta de que esos puntos en el horizonte cambiaban según las diferentes estaciones, con lo que consideraron más práctico utilizar las estrellas para orientarse.

Desde entonces, miles de generaciones de astrónomos y astrónomas vivieron y trabajaron en este planeta sin que dejaran prácticamente ningún documento sobre sus logros. Estudiando sus yacimientos arqueológicos y las ruinas de sus templos y observatorios, hemos podido aprender un poco de ellos.

Otras culturas, como la antigua Grecia, nos han legado algunos documentos escritos a partir de los cuales hemos podido reconstruir la sofisticada astronomía del mundo antiguo. Aparte de estudiar las estrellas, intentaron comprender el movimiento de los planetas (a los que llamaron cuerpos errantes) y su situación en el Universo. Desde entonces y durante más de 1600 años la teoría más aceptada fue que la Tierra era el centro de dicho Universo (**modelo geocéntrico**) y que todo giraba alrededor nuestro. Algunos astrónomos de la Edad Media, realizando observaciones más precisas de estos cuerpos errantes, plantearon que podía existir otro modelo de Universo en el que no todo giraba alrededor de la Tierra y ésta no estaba inmóvil. Una revolución que comenzó con Copérnico y que, gracias al trabajo y sacrificio de otros científicos y astrónomos posteriores a él, consiguió implantarse hasta nuestros días.

Las leyes del movimiento de los planetas.

Tycho Brahe

Sin lugar a dudas, uno de los mejores observadores antes del descubrimiento del telescopio fue Tycho Brahe, que consiguió alcanzar precisiones muy altas en sus observaciones del movimiento de los planetas. Las primeras observaciones de Tycho son de su época de estudiante. En 1563, Júpiter y Saturno pasaron muy cerca uno del otro en el cielo, casi se podían confundir como un solo punto en la noche del 24 de agosto. Se dio cuenta de que las Tablas Alfonsinas (que pronosticaban este fenómeno) tenían un error de un mes, lo que despertó su interés por los movimientos de los planetas.

Después de observar en 1572 la posición de una nueva estrella (una nova que recibió su nombre), recibió fondos para la construcción de un observatorio. Construyó nuevos y mejores instrumentos que le permitieron hacer las mediciones más precisas hasta el momento de las posiciones de las estrellas, el Sol, la Luna y los planetas. Tycho se rodeó de algunos astrónomos y matemáticos, entre los que se encontraba Johannes Kepler, al cual consiguió que nombraran matemático imperial.

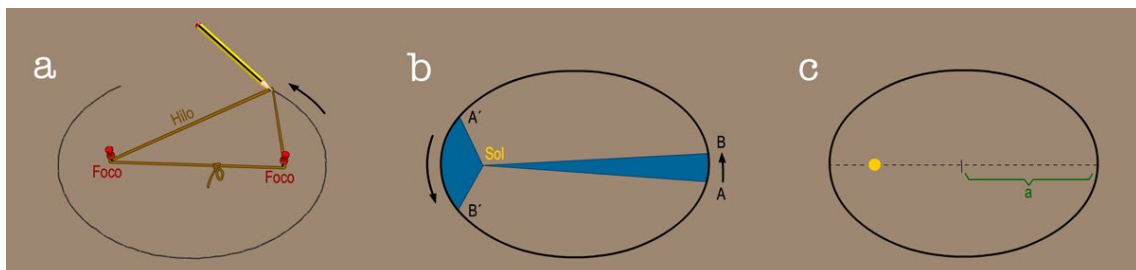
Johannes Kepler

Tras la muerte de Tycho Brahe, Kepler consiguió las observaciones de éste, que le sirvieron para realizar los cálculos matemáticos y describir el movimiento de los planetas. Al principio, intentó encajar los datos de las observaciones de Tycho sobre el movimiento de Marte en una órbita circular, pero encontró muchas dificultades, hasta que, con el tiempo, llegó a la conclusión de que dicha órbita podía ser elíptica. Del estudio de las posiciones planetarias, en especial del planeta Marte, dedujo las tres leyes que llevan su nombre.

3

La **primera ley de Kepler** dice que las órbitas de los planetas alrededor del Sol son elipses, estando el Sol en uno de sus focos. Una elipse la podemos definir como una figura plana dibujada alrededor de dos puntos llamados focos, de forma que la suma de las distancias de cada punto de la elipse a los dos focos es constante e igual al eje mayor de la elipse. Así, si queremos dibujar una elipse, podemos hacerlo fácilmente con dos chinchetas y un trozo de hilo. Se clavan las dos chinchetas sobre un cartón y se pasa el hilo anudado a su alrededor como indica la **figura a**. Desplazamos un lápiz de forma que el hilo se mantenga tirante en todo momento y obtenemos una elipse cuyos focos son las dos chinchetas. Aunque las órbitas de los planetas son elipses, hay que tener en cuenta que la mayoría de ellos tienen una órbita que es prácticamente circular (los focos están muy cercanos).

La **segunda ley de Kepler**, dice que la línea que une el Sol con el planeta barre áreas iguales en intervalos de tiempo iguales. Esto significa que cuando un planeta está en la parte de la órbita más cercana al Sol, debe moverse más deprisa que cuando se encuentra más alejado del Sol, en donde se mueve más despacio (ver **figura b**).



La **tercera ley de Kepler** establece que el tiempo que tarda un planeta en recorrer su órbita (lo que llamamos período orbital), elevado al cuadrado, es proporcional al cubo del semieje mayor de dicha órbita, **figura c**. Si medimos

esta distancia (a) en unidades astronómicas y el período orbital (P) en años, la tercera ley de Kepler se resume en la siguiente expresión:

$$P_{\text{años}}^2 = a_{UA}^3$$

Por ejemplo, Júpiter tiene una órbita casi circular, por lo que su eje mayor casi coincide con la distancia media del planeta al Sol, que es aproximadamente de 5 U.A. Esta cantidad elevada al cubo nos da 125, por lo que el periodo orbital de Júpiter será la raíz cuadrada de 125, es decir, unos 11 años aproximadamente.

Las tres leyes de Kepler son empíricas, es decir, describen el fenómeno sin explicar por qué ocurre, pero funcionan a la perfección.

Aunque Kepler descubriera las tres leyes del movimiento de los planetas, nunca supo por qué se movían en esas órbitas. En algunos escritos de la época se sugiere que son empujados por fuerzas magnéticas que emanan del Sol, mientras que en otros se especula con la posibilidad de que sean empujados por ángeles batiendo sus alas. Vamos, que no tenían ni idea.

Galileo Galilei

Un gran amigo de Kepler estudió el movimiento libre de los cuerpos, realizando experimentos por sí mismo. Su nombre era Galileo Galilei. Galileo comenzó estudiando el movimiento de caída de los cuerpos, pero pronto se dio cuenta de que las velocidades eran tan grandes y los tiempos tan cortos, que no podría medirlos con precisión. Por ello, pasó a estudiar el comportamiento de bolas en planos inclinados, en cuyo caso las velocidades son menores y los tiempos más largos. Llegó a la conclusión de que eran proporcionales a los que precisaban en su caída libre. Se dio cuenta de que al caer los cuerpos no lo hacían con velocidad uniforme, sino que se aceleraban, es decir, se movían más rápidamente a cada segundo que pasaba. Además, descubrió que la aceleración era independiente del peso del objeto, algo que se pudo comprobar en la Luna (donde no hay aire) cuando los astronautas que la pisaron soltaron a la vez un martillo de acero y una pluma, comprobando que llegaban al suelo al mismo tiempo.

Galileo puso de manifiesto que un objeto que cae por un plano inclinado es acelerado hacia el suelo mientras que un objeto que sube por el mismo plano es frenado. Llegó a la conclusión de que si la superficie fuera perfectamente horizontal y en ausencia de fricción, no podría haber ni aceleración ni frenado que cambiaran la velocidad del objeto y éste continuaría moviéndose indefinidamente. En sus propias palabras, “cualquier cuerpo en movimiento mantiene indefinidamente su velocidad salvo que causas externas le obliguen a

modificarla". Galileo publicó sus trabajos sobre el movimiento en 1638, cuatro años antes de su muerte.

Otro de los grandes logros de Galileo fue la mejora del telescopio, que le permitió realizar observaciones astronómicas de mayor calidad y, gracias a ellas, hacer descubrimientos importantes que permitieron desechar el antiguo modelo geocéntrico de Ptolomeo: la Luna no es una esfera perfecta sino que tiene montañas y cráteres; Júpiter tiene varios satélites que giran a su alrededor (él descubrió 4 de ellos, los de mayor tamaño); el tamaño de los planetas y la Luna aumentaba al observarlos a través del telescopio, pero no el de las estrellas (que están mucho más lejos); Venus presenta fases y cambios de tamaño que son compatibles con el giro del planeta alrededor del Sol; el Sol tampoco es una esfera perfecta e inmutable porque se observan manchas en su superficie y ésta rota.

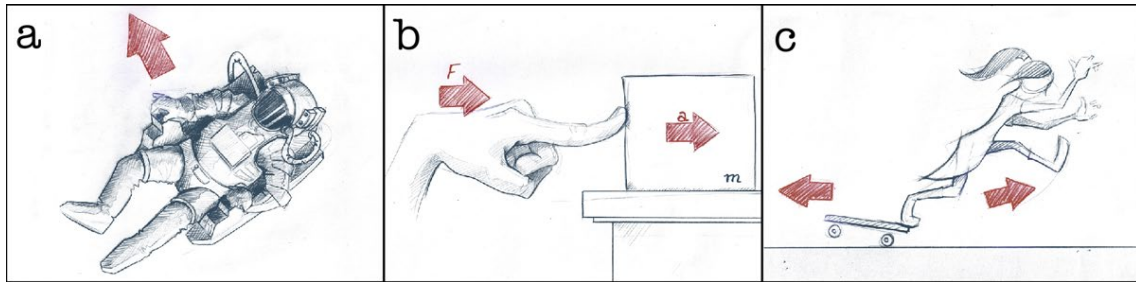
5

Isaac Newton.

El mismo año que muere Galileo nace otro gran científico que dará el paso definitivo al estudio del movimiento de los cuerpos en el Universo, Isaac Newton. Newton fundamentó su propio trabajo en los estudios de Galileo y de algunos otros. A lo largo de su vida estudió óptica, inventó sistemas de cálculo, construyó nuevos modelos de telescopios, desarrolló tres leyes del movimiento y descubrió el principio de gravitación universal.

Las tres **leyes del movimiento de Newton** son fundamentales para el estudio del movimiento de cualquier cuerpo en el Universo. Se aplican a cualquier objeto celeste, desde los más pequeños asteroides hasta las galaxias en colisión. Podemos enunciarlas de la siguiente manera:

- I. Un cuerpo permanece en reposo o con movimiento rectilíneo uniforme, salvo que actúe sobre él alguna fuerza.
- II. La aceleración de un cuerpo es inversamente proporcional a su masa, directamente proporcional a la fuerza que la produce y tiene el mismo sentido que ésta.
- III. A toda acción le corresponde una reacción igual y contraria, es decir, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en sentidos opuestos.



La primera ley es, en realidad, una reafirmación del principio de inercia de Galileo. Esta ley explica, por ejemplo, por qué un astronauta continúa moviéndose en el espacio después de cesar la fuerza que lo ha impulsado (los inyectores de propulsión de su traje, ver **figura a**).

La segunda ley es importante pues establece una relación entre causa y efecto. Los objetos sometidos a una fuerza no solo se mueven, sino que se aceleran mientras permanezca esta fuerza (**figura b**). Un ejemplo claro lo tenemos en los cohetes espaciales. Desde que el cohete enciende los motores, comienza a acelerarse aumentando constantemente su velocidad hasta que, una vez en el espacio, los apaga y continúa a la misma velocidad, pues no hay rozamiento con el aire ni ninguna otra fuerza que lo frene.

La tercera ley de Newton especifica que para cada acción existe una reacción igual y contraria. Por ejemplo, si estamos sobre un monopatín que está quieto y saltamos hacia adelante, el monopatín saldrá disparado hacia atrás (**figura c**).

De la primera y segunda ley, Newton dedujo que los cuerpos en caída libre se aceleran hacia abajo porque alguna fuerza les empuja en esa dirección. Junto con la tercera ley, que indicaba que si había una fuerza hacia abajo debía existir otra hacia arriba, dedujo que si la Tierra tira hacia abajo de un objeto, éste debería hacer lo mismo tirando de la Tierra hacia él. Así, por ejemplo, la Luna debería tirar de la Tierra hacia ella, sólo que con menor intensidad, pues su masa es menor.

Dedujo también que la intensidad de esa fuerza disminuía con la distancia, al igual que lo hace el brillo de una vela a medida que nos alejamos de ella.

Newton combinó estas deducciones en la **ley de la gravitación universal** que describe la interacción gravitatoria entre varios cuerpos con masa. La ley se puede enunciar como: la fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas M y m separados una distancia r es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia

$$F = -G \frac{Mm}{r^2}$$

donde G es la constante de gravitación universal y el signo negativo indica que la fuerza es atractiva.

La ley de Titius-Bode

En 1772 el astrónomo Titius estableció una ley empírica que relaciona las distancias al Sol de los seis planetas conocidos hasta entonces, desde Mercurio hasta Saturno, con el número de orden del planeta respecto al astro. Esta ley fue publicada posteriormente por Bode y se la conoce como ley de Titius-Bode.

Si ordenamos las distancias del Sol a los planetas, expresadas en Unidades Astronómicas (UA), obtendremos esta serie:

Mercurio	Venus	Tierra	Marte	?	Júpiter	Saturno
0,39	0,72	1,0	1,52	2,8	5,2	9,5

Ahora, si a cada término de la siguiente serie numérica:

0	3	6	12	24	48	96	192
---	---	---	----	----	----	----	-----

se le suman cuatro unidades, quedará transformada en esta otra:

4	7	10	16	28	52	100	196
---	---	----	----	----	----	-----	-----

Al dividir por diez cada término, obtendremos la serie numérica de Titius-Bode:

0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6
------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------

que coincide bastante bien con las distancias de los planetas al Sol. Pocos años después, en 1781, fue descubierto **Urano** y su distancia al Sol, **19,2 UA**, encajó perfectamente en la serie numérica de Titius-Bode. El único problema existente era la ausencia del planeta que debía ocupar la posición 2,8. Esto hizo que los astrónomos se emplearan a fondo en la búsqueda de un planeta entre las órbitas de Marte y Júpiter. Poco a poco fueron descubriéndose pequeños cuerpos que ocupaban esa posición a la que se denominó **cinturón de asteroides**.

Para más información, visite nuestra página web: www.iac.es/peter

Para más información, visite nuestra página web: www.iac.es/peter

Contacto: **Nayra Rodríguez Eugenio, Alejandra Goded** (peter@iac.es)
Unidad de Comunicación y Cultura Científica
Instituto de Astrofísica de Canarias
Calle Vía Láctea s/n
38205 La Laguna
Santa Cruz de Tenerife
España

9

Esta unidad didáctica ha sido financiada por:

