

Las Leyes de Kepler

Carlos Tapia Schiavon

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio
Universidad Autónoma de Sinaloa

El astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) fue uno de los científicos más importantes de los siglos XVI y XVII. Su trabajo permite describir el movimiento orbital de los planetas, leyes que llevan su nombre, dos de ellas publicadas en 1609 y la tercera en 1619. Adicionalmente, se le reconoce por sus trabajos en óptica y matemáticas.

La revolución científica de la concepción del modelo de nuestro sistema solar vio su nacimiento con el trabajo de Nicolás Copérnico, *De Revolutionibus* en 1543. Este trabajo junto con la vasta librería de datos observacionales de Tycho Brahe (segunda mitad del S. XVI), permitieron a Kepler desarrollar y publicar sus trabajos *Astronomia Nova* en 1609 y *Harmonices mundi* en 1619 explicando las órbitas de los planetas y definiendo sus tres leyes. El trabajo de Kepler fue la pieza clave que permitiría desestimar por completo el modelo geocéntrico de Ptolomeo, vigente desde el Siglo II, y aceptar el modelo heliocéntrico con un respaldo físico matemático.

Kepler, fiel a la tendencia de creer en un orden y perfección de la naturaleza de los astros dominante en esa época, basó sus estudios en el modelo heliocéntrico de Copérnico para desarrollar un modelo matemático. En este modelo, el Sol se encontraba en el centro del sistema solar mientras que todos los planetas daban vuelta en torno a él en círculos perfectos y, en concordancia, el primer modelo de Kepler posicionaba a cada uno de los planetas conocidos hasta el momento (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno) dentro de una esfera contenida en cada uno de los

sólidos perfectos¹ (ver Figura 1). Este trabajo se encuentra en su obra *Mysterium Cosmographicum* publicado en 1596 y, aunque su teoría después sería desestimada por él mismo, le valió la invitación para trabajar bajo la supervisión de Tycho Brahe el gran astrónomo observacional que contaba con los mejores registros de las posiciones de los planetas de la época, en particular, de Marte.

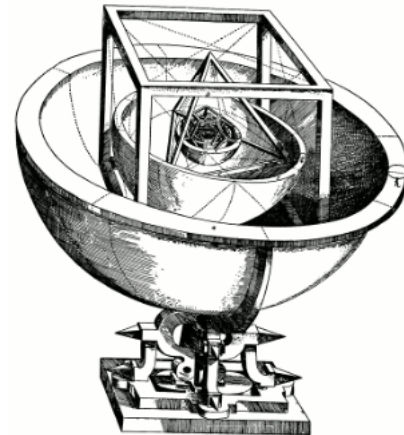


Figura 1. Modelo de Kepler de los sólidos perfectos y las esferas que contienen a los planetas. Johannes Kepler: *Mysterium Cosmographicum*, Tübingen 1596.

Teniendo como base la idea de poner al Sol en el centro del sistema de referencia, los resultados que obtuvo Kepler del análisis geométrico de las observaciones de Marte, derribaron la idea errónea de que ese planeta debía describir una trayectoria circular ya que, el desarrollo matemático mostraba

¹ Los sólidos perfectos son poliedros convexos, tal que, todas sus caras son polígonos regulares iguales entre sí, y en que todos los ángulos sólidos son iguales.

que la trayectoria de Marte se ajusta a una curva ovalada en cuyo centro no se encontraba el Sol. A este resultado se le conoce como la Primera Ley de Kepler: Los planetas se mueven alrededor del Sol en órbitas elípticas, con el Sol en uno de sus focos. (ver Figura 2).

Otro resultado del análisis de los datos observacionales mostró que Marte no se desplazaba en su órbita con una velocidad constante, lo que se creía desde los tiempos de Aristóteles. Para llegar a ese resultado Kepler tuvo que relacionar el cambio de la posición del planeta en el cielo con el tiempo (determinar la velocidad) con la variación del tamaño angular del planeta, es decir, con el tamaño del planeta

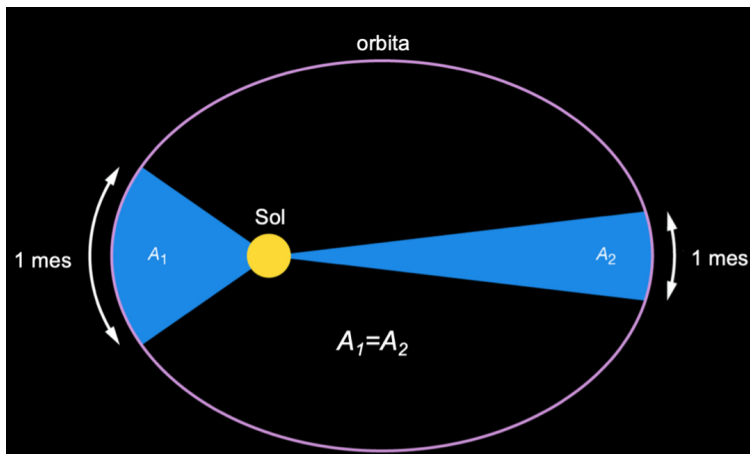


Figura 2. La figura muestra la órbita elíptica de un planeta con el Sol en uno de sus focos. El desplazamiento del radio vector define las áreas azules A1 y A2 durante el mismo tiempo de traslación tal que $A_1=A_2$.
(Figura adaptada al español de <https://www.britannica.com/science/Keplers-laws-of-planetary-motion#/media/1/315260/228743>)

visto desde la Tierra. Siendo la órbita circular como se suponía, la distancia al Sol debería de ser constante. Este resultado se plasma en la Segunda Ley de Kepler: El radio vector² que liga un planeta al Sol describe áreas iguales en tiempos iguales (ver Figura 2).

Estos dos resultados encontrados a partir del análisis de la órbita de Marte permitieron establecer las leyes que rigen los movimientos del resto de los planetas, ya que con ellos Kepler logró explicar de forma sencilla los datos observacionales de Tycho, leyes que pueden consultarse hoy en día en su obra *Astronomia Nova*.

Para darnos una idea del gran desarrollo matemático del trabajo de Kepler, te planteamos el siguiente ejercicio: supongamos que una persona se encuentra en la parte alta de una montaña lejana a ti y cuenta con una lámpara muy potente que apunta en dirección a tu casa, es decir, el radio vector de la lámpara apunta hacia ti. La persona en el cerro tiene indicaciones de moverse aleatoriamente y con cambios de velocidad en su desplazamiento, pero siempre apuntando la lámpara en tu dirección. Tu tarea principal consiste en determinar de forma precisa la distancia a la que se encuentra la persona, así como la trayectoria y la distancia con la que se movió la persona en el cerro solo usando el registro de tiempo, posición y variación del tamaño aparente de la luz de la lámpara que ves,

únicamente con tus ojos, desde tu casa, haciendo uso de tus conocimientos de geometría.

Finalmente, continuando con un análisis mucho más profundo de las órbitas, no solo de Marte, sino del resto de los planetas, así como de las observaciones disponibles, Kepler fue más obstinado y dedicó su tiempo a encontrar una relación aritmética entre las distancias de los planetas al Sol

y el tiempo que tarda cada uno de ellos en dar una vuelta al Sol, conocido como periodo orbital. Como resultado, Kepler publicó en 1619 su obra *Harmonices Mundi* donde se enuncia su tercera y última ley: la razón entre el cuadrado del periodo, T, de un planeta y el cubo de su distancia media al Sol, r, es

una constante.

En la Tabla 1 se muestran el tiempo en años que tarda cada planeta en dar una vuelta alrededor del Sol y su distancia media también al Sol. En la cuarta columna se muestra el valor constante, practicante una unidad, mencionado en la tercera ley.

Planeta	T [años]	r [UA*]	T ² /r ³
Tierra	1.00	1.00	1.00
Marte	1.88	1.52	1.006
Júpiter	11.86	5.20	1.0003
Neptuno	164.80	30.10	0.9959

*Una unidad astronómica es igual a 1.49 x10⁸ Km, valor de la distancia media de la Tierra al Sol.

Aún cuando Kepler no llegó a conocer la razón del movimiento de los planetas alrededor del Sol ni el por qué de las relaciones que encontró (la teoría de la gravitación universal la formularía Isaac Newton varias décadas después), con estas leyes se lanzaron cohetes al espacio a mediados del siglo pasado y hoy en día, las Leyes de Kepler no sólo permiten calcular las órbitas de los planetas, en este o en cualquier sistema solar, sino que además nos permite calcular la masa de los agujeros negros o la cantidad de materia oscura contenida en una galaxia.

² Segmento que une el foco y un punto de una curva. En este caso, al vector que une al Sol con el planeta a lo largo de su órbita.