

Tres libros, tres leyes: 400 años de la Armonía de los Mundos

8 de noviembre de 2019

Raúl Mújica García

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

¿Cómo serían nuestras vidas sin televisión, teléfono, radio e Internet? ¿Cómo sería el mundo? Todos los medios de comunicación rápida estarían reducidos seriamente sin satélites de comunicaciones. Actualmente hay más de dos mil satélites en órbita alrededor del mundo que son utilizados por organizaciones gubernamentales y privadas. Todo esto y muchas de las maravillas de la edad moderna, incluyendo el internet y los viajes espaciales, son posibles gracias a la labor de los astrónomos Johannes Kepler y Tycho Brahe.

Utilizando las observaciones de Brahe, en particular aquellas de Marte, Kepler determinó sus tres leyes del movimiento orbital que se publicaron en 1609 y 1619, las primeras dos en su libro *Astronomía Nova* y la tercera en *Harmonices Mundi*.

Estas leyes dieron lugar a una revolución científica. Isaac Newton las usó para desarrollar su teoría de la gravitación y creó una nueva rama de las matemáticas. La generalización de las Leyes de Kepler hoy nos da la posibilidad de colocar satélites en órbitas precisas. Seguramente hace 400 años no estaba planeado, pero es lo más importante de la llamada ciencia básica o fundamental, que sus aplicaciones no necesariamente aparecen de inmediato.

Una maravilla es también la manera en que Kepler las fue descubriendo. Tuve la fortuna de trabajar con uno de los libros de Kepler, el *Mysterium Cosmographicum*, cuando de la Biblioteca Palafoxiana me invitaron a comentar algunos de los libros de astronomía en su acervo. Hojear las gráficas que antes sólo había visto en el programa Cosmos de Carl Sagan, es algo difícil de olvidar.

El Misterio Cósmico (*Mysterium Cosmographicum*)

En la época de Brahe y Kepler sólo seis planetas eran conocidos: Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. Sólo existen cinco sólidos regulares: tetraedro, cubo, octaedro, icosaedro y dodecaedro. Entonces, Kepler pensó que debía haber una relación entre ambos: en los cinco espacios existentes entre los seis planetas debían encajar los cinco sólidos regulares.

En la esfera determinada por la órbita de Saturno metió un cubo, dentro del cubo la esfera correspondiente a Júpiter, seguida del tetraedro, que contiene la esfera de Marte, luego el dodecaedro, seguido de la esfera de la Tierra, dentro de ella, el icosaedro, luego la esfera de Venus conteniendo al

octaedro que a su vez contenía la esfera de Mercurio. Parecía todo resuelto.

La idea se le ocurrió mientras daba clase, al dibujar un círculo dentro de un triángulo, y luego un círculo enmarcando el triángulo. La satisfacción del descubrimiento puede medirse con sus propias palabras: “El deleite que me proporcionó mi descubrimiento es algo que jamás seré capaz de describir con palabras”.

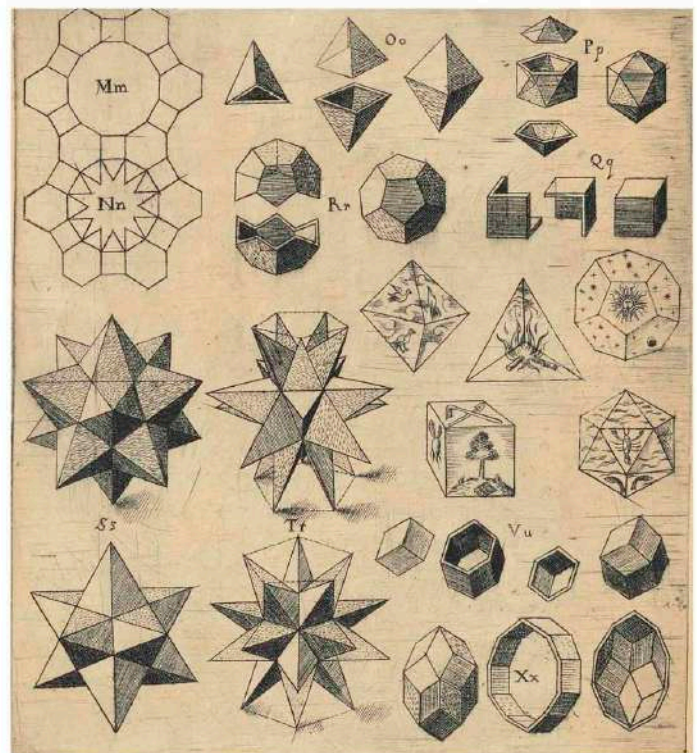
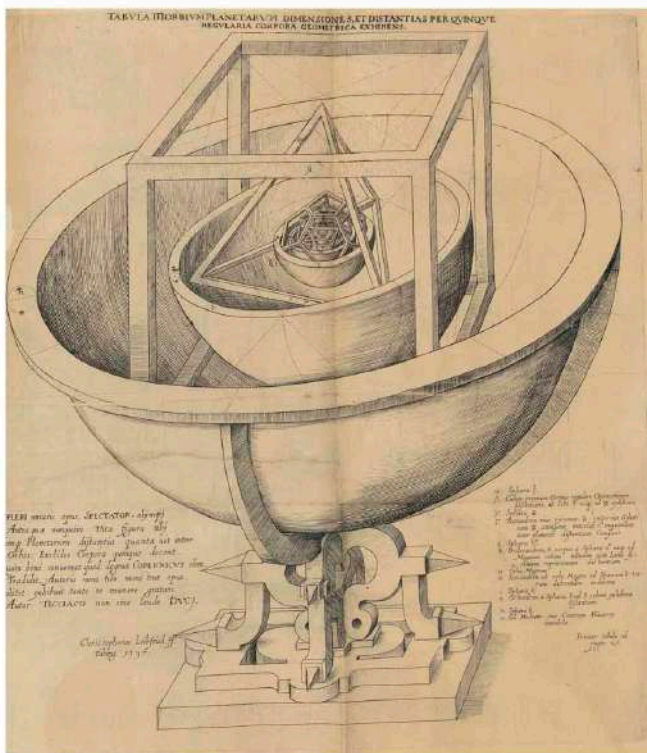
Kepler escribió el Misterio Cósmico en 1596 cuando tenía apenas 25 años de edad. Aunque la idea ahí plasmada no funcionó, fue de los primeros intentos para establecer las leyes que regían los movimientos de los planetas y le sirvió de motivación en su trabajo,

mismo Brahe, Kepler pone especial atención en el movimiento de Marte, y de ahí resultan sus dos primeras leyes. Estas fueron publicadas en 1609, desde Praga, en la *Nueva Astronomía*.

1) Los planetas se mueven alrededor del Sol en órbitas elípticas, estando el Sol en uno de los focos.

2) La línea que conecta al Sol con un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.

El nombre del libro es más que adecuado. Se trataba de una nueva astronomía ya que nunca antes se había pensado en órbitas elípticas en lugar de las circulares. Seguramente fue un gran pesar para Kepler, quien tuvo que introducir una figura menos



el que le condujo a establecer las tres leyes del movimiento planetario que llevan su nombre, en particular para la tercera.

La Nueva Astronomía (*Astronomia Nova*)

Pero no nos brinquemos el orden, sabemos que Tycho no cedía fácilmente sus datos a Kepler, datos que había colectado durante muchos años. Finalmente, en 1601 Kepler puede trabajar con estas observaciones. Siguiendo la recomendación del

“divina” para las trayectorias de todos los planetas. En efecto, los resultados para Marte aplicaban también para los demás planetas, aunque los efectos de la elipticidad de las órbitas eran menos evidentes.

Ahora Kepler se dedica a comparar distancias mínimas y máximas, busca relaciones con figuras geométricas en dos y tres dimensiones, para encontrar armonías, lo cual desarrollará en su siguiente libro, la *Armonía de los Mundos*.

La Armonía de los mundos (*Harmonices Mundi*)

Hace 500 años, en 1619, Johannes Kepler publica "La Armonía de los Mundos", un tratado sobre filosofía, teología, música, geometría, astrología y astronomía. La obra consta de cinco libros: *Primus Geometricvs*; *Secundus Architectonicvs*; *Tertius Harmonicvs*; *Quartus Metaphysicvs*, *Psychologicvs* & *Astrologicvs*; *Quintus Astronomicvs* & *Metaphysicvs*.

Es, en el Libro V de esta obra, donde enuncia su **tercera ley** del movimiento planetario; "el cuadrado del periodo orbital de un planeta es directamente proporcional al cubo del semi-eje mayor de su órbita". Muchos la consideran como uno de los resultados más elegantes en toda la astronomía.

¿Cuántas relaciones no habrá ensayado antes de encontrar este resultado? Este texto de Jamie James obtenido de su libro "The Music of the spheres" puede reflejar un poco el gran trabajo que debió hacer para tratar de encontrar un orden sonoro en el universo:

En el quinto libro [de De Harmonice Mundi] Kepler trata de probar la relación entre las proporciones musicales y el movimiento de los planetas: la música de las esferas. Después de su propio descubrimiento de las órbitas elípticas de los planetas, las tradicionales órbitas circulares dejaron de ser válidas. Intentó un sinfín de esquemas para reconciliar las proporciones musicales y las medidas de las revoluciones planetarias que tenía a su disposición; intentó construir series basadas en los periodos de revolución de los planetas, en sus volúmenes relativos, en sus afelios y perihelios, en sus velocidades extremas. Intentó comparar la longitud de tiempo que un planeta necesitaba para atravesar un arco de su órbita en el afelio con el tiempo requerido para cubrir la misma distancia en el perihelio, pero tampoco funcionaba.

Otra medida de este esfuerzo puede apreciarse en las cerca de dos mil hojas de borrador que se conservan, con cálculos aritméticos realizados por Kepler, sólo para resolver el problema de la órbita de Marte.

La Armonía de los Mundos no es sencilla de seguir, se requiere una buena guía y un gran esfuerzo. Inicia con la geometría de las figuras regulares en dos dimensiones, pasando luego a la arquitectura, la geometría de los cuerpos sólidos regulares tridimensionales, transfiere a los sonidos musicales la armonía en las figuras geométricas, para luego aplicar también estos conceptos de relaciones armoniosas geométricas a las cartas astrales, asociando las armonías con la astrología, y llega al Libro V donde

descubre las mismas armonías en las relaciones geométricas de las trayectorias de los planetas, llegando finalmente a la "música de las esferas".

Pero, ¿Qué es la música de las esferas? Pitágoras, para variar, fue el primero en darse cuenta de que algunos intervalos musicales podían expresarse mediante proporciones matemáticas sencillas. Conmoviendo a todos los pitagóricos, ya que decían que esto constataba que el mundo podría ser explicado mediante proporciones y relaciones geométricas. Extrapolando la analogía de la vibración de las cuerdas a otros fenómenos naturales, llegaron a los planetas cuyos movimientos periódicos habrían de emitir sonidos correspondientes. Esto significa, de manera simplificada, que los planetas deberían emitir una música, no audible debido a la periodicidad de su movimiento, pero análoga a los elementos que vibran en los instrumentos musicales. Otros filósofos lo tomaron como parte de sus estudios, Platón y Aristóteles entre ellos. La idea de la música de las esferas empieza a decaer durante el renacimiento, imponiéndose la experimentación, eliminando concepciones puramente mentales o conceptos sin una base empírica.

Lo bueno de esta búsqueda es que nos dejó tres leyes, que si bien sólo describen cómo se mueven los planetas sin explicar por qué lo hacen, sentaron las bases para la explicación física que daría Newton, aunque hasta 70 años después.