

LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

A través de la historia de la humanidad, el avance en las diferentes áreas del conocimiento se debe a la contribución de numerosas personas que se han dedicado a observar, comparar, buscar relaciones básicas, las causas de determinados fenómenos, y proponer hipótesis para explicarlos.

Las leyes que se han considerado verdaderas durante un largo periodo de tiempo han tenido que dar paso a otras propuestas que se han generado a partir de nuevas observaciones.

Los conceptos que en la actualidad se tienen como obvios y verdaderos le ha tomado muchos siglos a la humanidad construirlos y en años venideros podrán modificarse debido a las nuevas aportaciones que harán los hombres y mujeres que incursionen en los diferentes campos del conocimiento.

La investigación del universo ha rebasado las fronteras de la Tierra, para ir más allá del espacio inmediato que la rodea. Con el creciente avance tecnológico, el hombre es capaz de explorar y descubrir cuerpos que se encuentran a distancias tales que ningún hombre hubiese podido alcanzar, aun viajando a la velocidad de la luz.

Seguramente el hombre primitivo se dio cuenta de un suceso muy común: todas las cosas caen al suelo si se les quita el apoyo o si se les suelta de donde están sujetas. A pesar de ser un hecho cotidiano, el hombre tardó mucho tiempo en plantearse las preguntas de cómo y por qué sucede esto y en encontrar las respuestas para explicarlo. Gracias al trabajo de numerosos investigadores a través del tiempo, se sabe que hechos tan simples como la caída de una piedra lanzada por la mano y fenómenos tan complejos como la distribución de las galaxias en el universo obedecen a la



ley de la gravitación universal.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS MODELOS DEL UNIVERSO

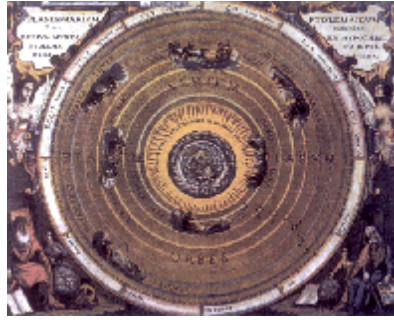
Desde la antigüedad los fenómenos naturales como las tormentas, los rayos y los truenos, las sequías, las inundaciones y los eclipses, han despertado el temor y la curiosidad en el hombre.

Primero se pensó que eran fenómenos sobrenaturales provocados por la ira de los dioses, a los que se intentaba calmar mediante ceremonias y sacrificios. Más tarde observaron que las estaciones, que regían su modo de vida, estaban relacionadas con los movimientos del Sol, la Luna y las estrellas, así es como nació la astronomía en las antiguas civilizaciones: babilonia, egipcia, china, hindú y maya.

Concepto griego del universo

Desde hace unos 2 700 años, los sabios de Grecia intentaron explicar cómo estaba constituido el mundo físico. De hecho, ellos inventaron la palabra física para referirse al conjunto de cosas materiales que nos rodean.

Trataban de encontrar las explicaciones de los



fenómenos, es decir, sus leyes.

Anaximandro (550 a.C.), fue el primer astrónomo de quien se tiene noticia. Observó que el cielo parecía girar alrededor de la estrella polar y lo explicaba diciendo que las estrellas se movían como si estuvieran fijadas en una gran semiesfera que giraba alrededor de la Tierra.

Si se toma una fotografía a la estrella polar con una hora de exposición, se observa el movimiento aparente de las estrellas. Este movimiento indujo a los griegos a considerar que las estrellas, en movimiento circular, giraban alrededor de la Tierra.

Pitágoras (530 a.C.), descubrió el universo con la Tierra, redonda, en el centro, rodeada de una serie de esferas transparentes y concéntricas que giraban y en las cuales estaban incrustados los cuerpos celestes. Este modelo del universo se fue haciendo más complicado, al tener la necesidad de imaginar más esferas para explicar las nuevas observaciones sobre el movimiento de los planetas y las estrellas.

Aristarco (250 a.C.), hizo dos grandes contribuciones. La primera, que el movimiento aparente de las estrellas cada noche indicaba que la Tierra giraba. La segunda, al observar el movimiento aparente del Sol y los planetas respecto al movimiento de las estrellas, dedujo que la Tierra y los otros planetas giraban alrededor del Sol.

Eratóstenes (200 a.C.), calculó la circunferencia terrestre considerando que la Tierra es esférica y los rayos del Sol son paralelos cuando llegan a la Tierra.

Hiparco (140 a.C.), observó que el Sol, la Luna y los planetas parecían ser más brillantes en unas épocas que en otras; por tanto, concluyó que su distancia a la Tierra debía variar en forma cíclica, por lo que utilizó el concepto de epiciclo para explicar este fenómeno. Los epiciclos complicaron aún más el modelo del universo formado por esferas transparentes y concéntricas.

Ptolomeo (140 d.C.), fueron varios los sistemas desarrollados para simplificar el complicado modelo griego del universo, pero el que tuvo más éxito fue el de Ptolomeo, un astrónomo griego que vivió en Alejandría hacia el siglo II de la era cristiana. Organizó los trabajos de Hiparco, les agregó los datos de las observaciones más recientes de su época, realizó los cálculos que incluían a los epiciclos y otros conceptos nuevos, incluyó tablas de datos y publicó su teoría del universo en un libro conocido como el Almagesto.

Según esta teoría, la Tierra se encontraba en reposo en el centro del universo y a su alrededor giraban los cuerpos celestes, moviéndose a su vez en su epiciclo. Este sistema, por tener como centro de la Tierra, se conoce como modelo geocéntrico del universo.

El sistema ptolemeico perduró durante casi 13 siglos, por diferentes razones:

- Porque mediante las tablas del Almagesto era fácil determinar por anticipado la posición y el movimiento de los cuerpos celestes, por lo que fueron particularmente útiles en la navegación.
- Porque en esa época se presentaban grandes dificultades técnicas de medición, pues no había un modo

preciso de medir el tiempo, se utilizaba el sistema romano de numeración y no existían patrones de medida.

- Porque la teoría ptolomeica coincidía con los dogmas religiosos de la Iglesia cristiana que afirmaban que Dios había creado a la Tierra como un planeta privilegiado alrededor del cual se movían los cuerpos celestes.

El concepto del universo durante los siglos XVI y XVII

En tiempos del imperio romano no hubo grandes avances en la ciencia teórica; lo que interesaba en esa época eran las aplicaciones prácticas. La cristiandad se consolidó y se extendió durante la Edad Media. En esa época, el clero tuvo gran influencia en la política, la filosofía y la ciencia.

Durante varios siglos, los de diez que abarcó la Edad Media, los que mantuvieron la antorcha del conocimiento fueron los árabes. Ellos tradujeron las obras de los filósofos griegos al árabe, y en el Renacimiento fueron traducidos al latín. Contribuyeron con nuevos conocimientos, principalmente en la química. Introdujeron el sistema de números arábigos, perfeccionado más tarde en la India con el sistema decimal. A través de los musulmanes estos conocimientos llegaron a Europa.

Los primeros relojes mecánicos aparecieron a fines del siglo XIII; estaban movidos por contrapesos y no eran muy precisos.

En el Renacimiento se reavivó la curiosidad del hombre. Colón descubrió América y Magallanes efectuó el primer viaje de circunnavegación del que se tiene constancia.

Respecto al sistema geocéntrico de Ptolomeo, conforme se hicieron observaciones más precisas y se organizaron, se encontraron cada vez más contradicciones en él, hasta que fue rebatido totalmente por las ideas de Galileo y posteriormente por las de Newton.

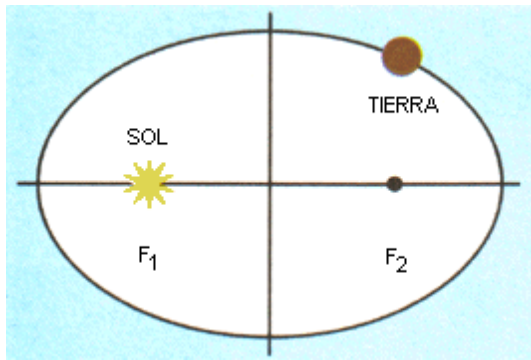
Nicolás Copérnico (1473–1543), nació en Polonia. Fue contemporáneo de Leonardo Da Vinci, Alberto Durero, Miguel Ángel, Juan Gutenberg, Nicolás Maquiavelo, Erasmo de Rotterdam y Martín Lutero. Observó que la teoría de Ptolomeo se podía explicar de una forma más sencilla tomando en cuenta las observaciones de Aristarco respecto a que el Sol era el centro del universo. Así nació la teoría heliocéntrica.

En el sistema de Copérnico el Sol estaba en el centro, después –en ese orden– los planetas Mercurio y Venus, la Tierra, con la Luna girando alrededor de ella, y finalmente Marte, Júpiter y Saturno (en tiempos de Copérnico aún no se conocían los planetas Urano, Neptuno y Plutón). Esto trajo como consecuencia una revolución en la concepción del universo.

Este sistema encontró gran oposición en ese tiempo, puesto que los hombres pensaban que vivían en el centro del universo y no sentían que la Tierra se moviera.

Ticho Brahe (1546–1601), astrónomo danés. Rechazó el sistema de Copérnico porque algunas de sus observaciones no coincidían con el sistema heliocéntrico. Diseñó algunos de los mejores instrumentos de su época para la observación astronómica a simple vista y trabajó en un castillo especialmente construido para realizar sus tareas. Pasó gran parte de su vida haciendo numerosas y cuidadosas observaciones y anotando todos los datos en tablas.

Johannes Kepler (1571–1630), matemático alemán que trabajó como asistente de Tycho Brahe, que a su muerte le heredó los libros en los que tenía una enorme colección de datos astronómicos organizados en tablas. Analizando la información de su maestro y mediante sus

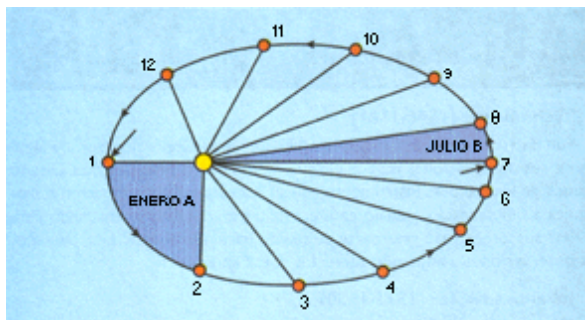


propios cálculos, consiguió perfeccionar el modelo de Copérnico y algo todavía más importante: formuló las tres leyes básicas del movimiento planetario.

Después de numerosos cálculos, Kepler encontró que éstos sólo coincidían con las observaciones si las órbitas en lugar de ser circulares fueran elípticas. Ello explicaba por qué los planetas, vistos desde la Tierra, en ocasiones aparentaban hallarse cerca y en otras lejos, o en posiciones que serían imposibles si siguieran órbitas circulares.

Al mismo tiempo, Kepler calculó que el Sol no se hallaba ubicado en el centro de la elipse, sino en uno de los focos.

La primer ley de Kepler, considerando estos cálculos, enuncia de manera resumida lo siguiente:



"Todo planeta gira alrededor del Sol describiendo una órbita elíptica en la cual el Sol ocupa uno de los focos".

Antes de los estudios efectuados por Kepler se creía que los planetas se movían a la misma velocidad durante todo su recorrido. Kepler descubrió que esto no es así; cuando están más próximos al Sol se mueven con mayor velocidad que cuando se encuentran lejos.

Si se observa la figura, cuando el planeta recorre el tramo de la órbita entre 1 y 2 desarrolla más velocidad que cuando recorre la distancia entre 7 y 8. Al mismo tiempo que el cuerpo celeste se desplaza de 1 a 2, la recta que une la periferia al foco más próximo (radio focal) "barre" el área A. Cuando recorre la distancia de 7 a 8, el radio focal correspondiente "barre" el área B. Si el tiempo empleado para ir de 1 a 2 fuera el mismo que para desplazarse de 7 a 8, entonces las áreas A y B serían iguales. Así lo dedujo correctamente Kepler y lo expresó en su segunda ley:

"El radio focal que une un planeta con el sol describe áreas iguales en tiempos iguales".

Tercera ley de Kepler. Kepler aún no se sentía del todo satisfecho con lo logrado; le faltaba encontrar algún modo de relacionar los periodos de revolución (T) (el tiempo que tarda un planeta en completar una vuelta alrededor del Sol) y los radios (r) de sus respectivas órbitas. Las cuales son ligeramente elípticas, esto es, casi

circulares.

Es conveniente aclarar que Kepler no intentaba describir el movimiento de los planetas mediante leyes. En realidad descubrió las relaciones que rigen el movimiento de los planetas movido por el deseo de encontrar la armonía con la cual el Creador había hecho el cosmos. Las relaciones que se conocen como leyes de Kepler fueron rescatadas por Newton, pues Kepler nunca las enumeró como tales y de hecho para él no representaban lo fundamental de su trabajo.

Kepler ensayó diversas relaciones: tomó los periodos de revolución ya conocidos y los elevó, uno a uno, al cuadrado; después tomó el radio focal medio de cada planeta y lo elevó al cubo.

Los resultados no evidenciaban relación alguna entre ellos. Entonces decidió dividir el cuadrado del periodo entre el cubo del radio, obteniendo la misma cifra para todos los planetas. Ahí estaba la relación que buscaba y que resultó ser una constante.

Así, la tercera ley de Kepler afirma:

$$\frac{T^2}{r^3} = K$$

Los cuadrados de los periodos de revolución planetarios son proporcionales a los cubos de los radios de sus órbitas.

Esta relación entre los cuadrados de periodos y los cubos de las distancias medias de los planetas al Sol la dedujo Kepler a partir de las cantidades con las que registró los movimientos de los planetas. Este astrónomo encontró que la relación planteada en su tercera ley era la adecuada.

Con sus investigaciones, Kepler estableció las bases para estudiar científicamente la mecánica celeste y preparó el terreno para que Isaac Newton realizara sus propias investigaciones.

Galileo Galilei (1564–1642), este físico y matemático italiano, uno de los fundadores del método experimental, hizo muchas aportaciones a la ciencia, entre ellas la descripción del movimiento oscilatorio, la caída libre de los cuerpos y la aceleración uniforme. También se interesó por la astronomía, sobre todo al enterarse del invento del telescopio en Holanda, que perfeccionó con lentes talladas por él mismo.

Galileo fue el primero que observó mediante un telescopio la superficie lunar y advirtió su aspecto lleno de cráteres e irregulares.

Además, apuntando su telescopio hacia Júpiter, descubrió cuatro satélites grandes que giran alrededor de dicho planeta, y los anillos de Saturno. Aquello apoyaba la teoría heliocéntrica, porque demostraba que los planetas se mueven alrededor del Sol y también que otros cuerpos, los satélites, se movían alrededor de sus respectivos planetas. Pero la Iglesia prohibió a Galileo difundir sus hallazgos.