TEMA 1. LA CIENCIA Y EL MÉTODO CIENTÍFICO

1- ¿QUÉ ES EL MÉTODO CIENTÍFICO?

Tenemos tres definiciones básicas que nos explican el concepto de lo que es el método científico y son:

1) El método científico es el conjunto de procedimientos lógicos que sigue la investigación para descubrir las relaciones internas y externas de los procesos de la realidad natural y social.

2) Llamamos método científico a la serie ordenada de procedimientos de que se hace uso en la investigación científica para obtener la extensión de nuestros conocimientos.

3) Se entiende por método científico al conjunto de procesos que el ser humano debe emplear en la investigación y demostración de la verdad.

1.1-ESTRUCTURA DEL MÉTODO CIENTÍFICO



Cuando se analiza un determinado fenómeno se procede sistemáticamente, siguiendo una serie de etapas establecidas en sus pasos fundamentales. Esta secuencia constituye el denominado método científico, o experimental que se estructura de:

1-**Detección de un problema**-observación. El primer paso del método científico tiene lugar cuando se hace una observación a propósito de algún evento o característica del mundo que no tiene explicación con los conocimientos del momento.

Tras la observación se procede a una detallada descripción del fenómeno. La observación debe ser reproducible.

2 – **Hipótesis**. Planteamiento de posibles explicaciones de las observaciones y su relación causa-efecto. Deducción de las consecuencias de la hipótesis y predicciones que se pueden deducir de la hipótesis: falsabilidad.

3**- Experimentación**- Comprobación de si las consecuencias de nuestra hipótesis se cumplen o no por medio de una experimentación controlada. Se intenta mantener todas las variables controladas o promediadas y se trabaja con una de ellas. De todos los pasos en el método científico es el que verdaderamente separa la ciencia de otras disciplinas.

Sobre esta fase puede haber variaciones en distintas disciplinas científicas o experimentos concretos. En ciertas ciencias no se pueden realizar experimentos directamente, sólo registrar datos (vulcanología, astronomía, física teórica...)

En ocasiones no hace falta plantear una hipótesis, sólo proceder a la experimentación directamente para conocer algo.

Registro y Análisis de datos: Es indispensable la recolección de datos (observaciones iniciales, resultados durante ya al final del experimento) en forma organizada, de manera que sea posible determinar relaciones importantes entre estos, para lo cual se utilizan tablas, graficas y en algunos casos dibujos científicos.

Análisis de Resultados: Extraer la mayor información de los datos recolectados.

4- **Demostración o refutación de las hipótesis** y **establecimiento de teorías**. Si es coherente con la experimentación, la hipótesis queda demostrada provisionalmente. Si tras nuevas comprobaciones la hipótesis no es refutada se enuncia una teoría

Es importante destacar que la ciencia tiene como objetivo el conocimiento público. Las investigaciones se publican en revistas donde son revisadas por expertos independientes que examinan su coherencia y calidad. Una vez demostrado que no se trata de un fraude, el nuevo conocimiento adquirido se hace público.



1.2- CARACTERÍSTICAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

"Si he visto más lejos es porque estoy sentado sobre los hombros de gigantes" Newton a Hooke en 1676

EL MÉTODO CIENTÍFICO ES RACIONAL

Es racional porque se funda en la razón, es decir, en la lógica, lo cual significa que parte de conceptos, juicios y razonamientos y vuelve a ellos; por lo tanto, el método científico no puede tener su origen en las apariencias producidas por las sensaciones, por las creencias o preferencias personales. También es racional porque las ideas producidas se combinan de acuerdo a ciertas reglas lógicas, con el propósito de producir nuevas ideas.

EL MÉTODO CIENTÍFICO ES ANALÍTICO

El método científico descompone todo lo que trata con sus elementos; trata de entender la situación total en términos de sus componentes; intenta descubrir los elementos que componen cada totalidad y las interrelaciones que explican su integración. Por tal razón, los problemas de la ciencia son parciales y así con sus soluciones, más aun: los problemas son estrechos al comienzo, pero van ampliándose a medida que la investigación avanza.

EL MÉTODO CIENTÍFICO ES CLARO Y PRECISO

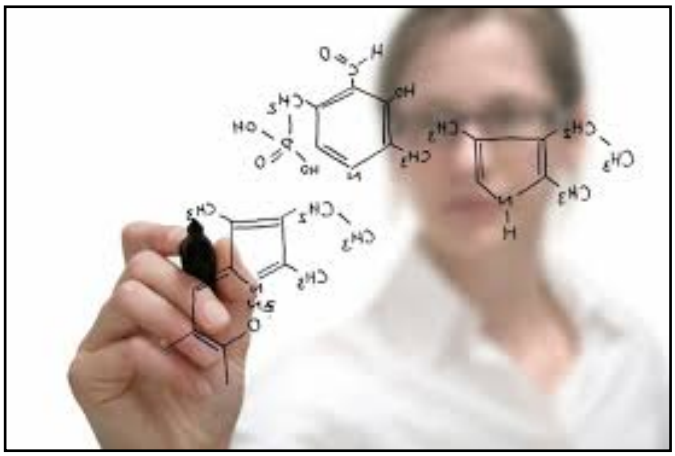
La claridad y la precisión del método científico se consiguen de las siguientes formas:

-Los problemas se formulan de manera clara, para lo cual, hemos de distinguir son los problemas e, incluiremos en ellos los conceptos o categorías fundamentales.

-El método científico inventa lenguajes artificiales utilizando símbolos y signos; a estos símbolos se les atribuye significados determinados por medio de reglas de designación.

EL MÉTODO CIENTÍFICO ES VERIFICABLE

Todo conocimiento debe aprobar el examen de la experiencia, esto es, observacional y experimental. Por tal razón la ciencia fáctica es empírica en el sentido de que la comprobación de sus hipótesis involucra la experiencia; pero no es necesariamente experimental y, por eso, no es agotada por las ciencias de laboratorio.



Dependiendo del **objetivo**, la investigación científica puede ser:

INVESTIGACIÓN BÁSICA

Se caracteriza porque busca el conocimiento en sí, en la determinación de generalizaciones universales, realizando teorías científicas, sistemáticas, y coherentes que se refieren a un área del saber humano.

INVESTIGACIÓN APLICADA

Es el trabajo científico que busca obtener conocimientos e informar sobre hechos o fenómenos para aplicarlos en el enriquecimiento de la ciencia y la solución de los problemas humanos.

1.3- ¿QUÉ ES LA CIENCIA?

La ciencia es un método de conocimiento, un conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento y de los que se deducen principios y leyes generales.

Se puede ver la ciencia desde dos focos distintos, a saber, desde el punto de vista estático o dinámico. "Según el punto de vista estático, ciencia es un cuerpo sistematizado de información que incluye principios, teorías y normas. Este punto de vista enfatiza los resultados acumulativos de la investigación."

Podemos referirnos a ciencia desde como dinámica cuando de le considera como un proceso. "Quienes crean ciencia desde este tipo dicen que las teorías y principios se convertirán en dogma si no se someten a la investigación y desarrollo continuo."

Los científicos establecen Teorías y Leyes científicas que son enunciados acerca de cómo se comporta la naturaleza. Estas teorías y leyes permiten hacer predicciones que han sido aplicadas para mejorar diversas facetas del desarrollo humano y por lo que ha adquirido el prestigio y la importancia actual.

1.4- CLASIFICACIÓN DE LAS CIENCIAS

<u>Formales</u>

-Lógica - Matemáticas

<u>Experimentales</u>

-Física

-Química

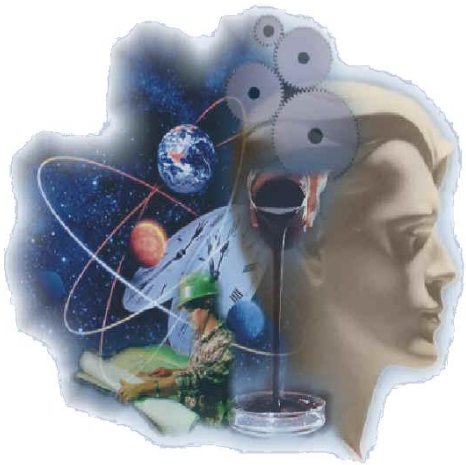
-Biología

-Geología

-Astronomía

-Meteorología

<u>Sociales</u>



-Psicología

-Sociología

-Historia

-Economía

2- LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

Como hemos visto en el ejemplo de la "revolución astronómica", el progreso científico no parece que suceda por acumulación de pequeños avances en largos periodos de tiempo. Más bien parece que las ideas científicas permanecen estables durante largos periodos de tiempo y después sufren rápidos cambios en momentos críticos.

"las nuevas teorías científicas no nacen por verificación ni por falsación, sino por sustitución"
Thomas S. Kuhn

Pero… ¿sustitución de qué? Kuhn resume el cambio científico con el siguiente esquema:

Un paradigma está constituido por los supuestos teóricos generales, las leyes y las técnicas para su aplicación que adoptan los miembros de una comunidad científica. Trabajar dentro de un paradigma implica poner en práctica lo que se llama "ciencia normal", que es la que articula y desarrolla el **paradigma**.

En este desarrollo, surgirán problemas, fenómenos que no quedan explicados por el paradigma. Si estas dificultades se consolidan, puede llegarse a la crisis que se puede resolver sólo desde un nuevo paradigma. Cuando este nuevo paradigma rompe radicalmente con el anterior, se produce una revolución científica.

Veamos con más detalle cada uno de los conceptos implicados en esta descripción:

El paradigma coordina y dirige la resolución de problemas y su planteamiento. Es el modelo de hacer ciencia que orienta la investigación científica y bloquea cualquier presupuesto, método o hipótesis alternativa. El paradigma es el soporte para la ciencia normal. Consta de leyes y supuestos teóricos, así como de aplicaciones de esas leyes y el instrumental necesario para las mismas. De fondo, aparece también un principio metafísico, una concepción de la realidad y de las cosas.

La ciencia normal es la actividad para resolver problemas (teóricos o experimentales) gobernada por las reglas de un paradigma. Sólo desde el paradigma se logran los medios

adecuados para resolver problemas. Los fenómenos inexplicados son anomalías, responsabilidad del científico, no de la teoría. El científico "vive" en el paradigma.

Surge la crisis con la existencia de anomalías, aunque sólo eso no implica una crisis necesariamente. Cuando se afecta al fundamento del paradigma y no es superado, es cuando el fenómeno constituiría una crisis.

Hablamos entonces de revolución; la crisis puede dar lugar a un cambio, a un "nuevo mundo". Los científicos rivales "viven en mundos distintos" y hay factores sociales, históricos, económicos, culturales y religiosos que pueden propiciar que un individuo escoja uno u otro paradigma. El cambio científico es fundamentalmente revolucionario. Las revoluciones científicas son aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en los que un viejo paradigma es sustituido total o parcialmente por otro distinto incompatible con él.

Ejemplos de revoluciones científicas y de cambios de paradigmas han sido la sustitución del geocentrismo por el heliocentrismo, la sustitución de la "generación espontánea" por la microbiología, el fijismo por el darwinismo, o la sustitución de la mecánica newtoniana por la física relativista.

3- LA REVOLUCIÓN ASTRONÓMICA: UN EJEMPLO DE MÉTODO CIENTÍFICO

3.1- LAS PRIMERAS IDEAS COSMOLÓGICAS: EL GEOCENTRISMO.

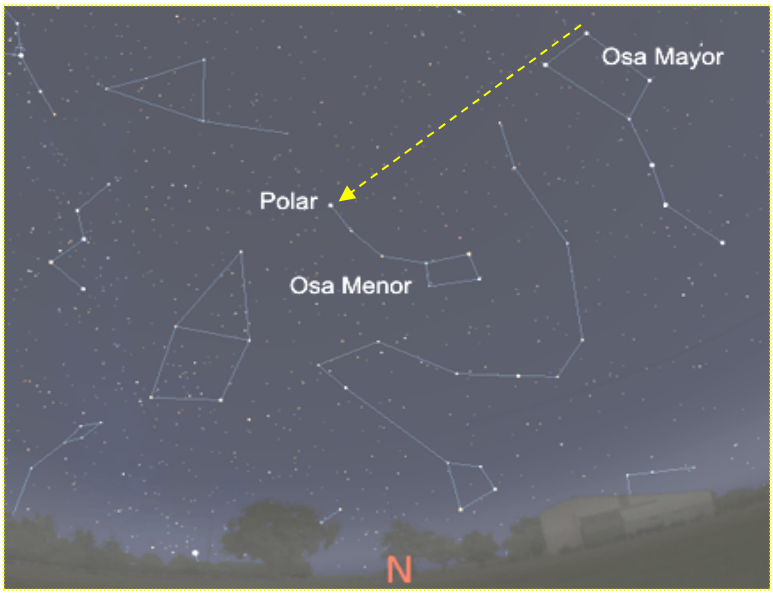
El cielo estrellado en una noche despejada es un espectáculo al que poca gente puede dejar de prestar atención; multitud de estrellas, unas más brillantes, otras menos, algunas casi imperceptibles a simple vista, se agrupan formando figuras más o menos regulares que conocemos con el nombre de constelaciones: Osa Mayor, Osa Menor, Orión, Cisne, Auriga… En ese cielo destacan también unos objetos mucho mayores que las estrellas y bastante más brillantes, los planetas. Venus y Júpiter son especialmente llamativos por su brillo y Marte destaca por su luz rojiza.

Si observáramos las estrellas durante cierto tiempo, no tardaríamos en descubrir una serie de movimientos:

- Los cuerpos celestes salen por el este y se ponen por el oeste.
- Todas las constelaciones parecen girar alrededor de una estrella, no excesivamente brillante, que se encuentra situada en la Osa Menor: la estrella Polar.
- El movimiento de los planetas es mucho más complicado, se mueven en relación al fondo de estrellas siguiendo una trayectoria bastante extraña que

consiste en una especie de bucles (de ahí su denominación, *planeta* viene del griego πλανήτης que significa "errante")

Como es lógico todo esto trató de ser explicado dando lugar a las primeras teorías cosmológicas



La estrella Polar señala el Norte. Es una estrella no demasiado brillante, situada en la Osa Menor y todas las demás estrellas y constelaciones parece que giran alrededor de ella.

Para situar la Polar, prolongar la línea que une Merak y Dubhe (las estrellas que forman el lado posterior del "carro" de la Osa Mayor). La polar se encuentra a una distancia igual a cuatro veces la existente entre ambas estrellas.

La estrella Polar se encuentra a unos 430 años luz de la Tierra.

Claudio Tolomeo (85-165), perfeccionó el modelo de universo geocéntrico que habían propuesto **Eudoxo** (390-337 a. C) y **Aristóteles** (384-322 a.C). Según este modelo la Tierra se encontraba en el centro del Universo y el Sol y los planetas giraban alrededor situados en esferas transparentes.



Trayectoria de Marte (2007)

La trayectoria del planeta describe un bucle. El movimiento de avance se va haciendo cada vez más lento hasta que prácticamente se detiene (21-11-2007) y a partir de ahí comienza a desplazarse en sentido contrario (movimiento retrógrado), acelerando primero, frenando después, hasta que recupera la trayectoria inicial..

Simulación del movimiento planetario según el modelo tolemaico en:

Para explicar el movimiento de los planetas el modelo incorporaba esferas más pequeñas en rotación, llamadas epiciclos, unidas a la esfera mayor, deferente.

En la esfera más exterior estaban situadas las estrellas. Ajustando el tamaño de las esferas y las velocidades de rotación se lograba una descripción de las órbitas planetarias bastante aproximada a la realidad.

Según la física Aristotélica el universo se dividía en dos: nuestro mundo, el mundo sublunar, situado por debajo de la esfera de la Luna y en el que todo estaba formado por

cuatro elementos (Tierra, Agua, Aire y Fuego) y en el que la tierra y el agua tienden a caer, mientras que el fuego y el aire tienden a ascender en un mundo cambiante e imperfecto. Por encima de la esfera lunar se extendía otro mundo eterno, perfecto e inmutable formado por un quinto elemento: la *quinta esencia o éter* (que significa eterno). El éter era el constituyente de los objetos celestes los cuales, en consecuencia, ni cambian ni comparten la tendencia al movimiento vertical de los cuerpos terrestres.

El modelo geocéntrico contaba con el beneplácito de la Iglesia Católica, ya que una lectura literal de la Biblia confirmaba, aparentemente, que el Sol giraba en torno a la Tierra:

> *... y dijo en presencia de ellos: Sol no te muevas de encima de Gabaón; ni tú, Luna, de encima del valle de Agalón.*
>
> *Y paráronse el Sol y la Luna hasta que el pueblo del Señor se hubo vengado de sus enemigos.*
>
> *Paróse, pues el Sol en medio de cielo, y detuvo su carrera sin ponerse por espacio de un día.*
>
> *No hubo antes ni después día tan largo obedeciendo el Señor a la voz de un hombre, y peleando por Israel.*
>
> Josué 10, 12-15

Una consecuencia del modelo geocéntrico era que el universo debería de tener un tamaño finito y no muy grande.

La esfera de las estrellas rota una vez al día. Si su radio es muy grande implicaría que su velocidad de rotación debería ser inconcebiblemente alta. El tamaño del universo de Tolomeo se estimó en unos 80.000.000 de km (radio de la esfera de las estrellas)

El modelo geocéntrico de Aristóteles y Tolomeo perduró hasta el s. XVI, aunque **Aristarco de Samos** (310-230 a.C) había propuesto un modelo heliocéntrico del que se tiene noticia a través de los escritos de Arquímedes (287-212 a.C), quien había calculado que el universo de Aristarco tendría un tamaño de $9{,}2.10^{12}$ km (un año luz)

3.2- COPÉRNICO, KEPLER, GALILEO Y NEXTON: EL HELIOCENTRISMO

Aunque el sistema tolemaico proporcionaba una aproximación a la forma en que se movían los astros, era bastante inexacto. Las predicciones realizadas a menudo resultaban equivocadas en horas y hasta en días, lo que motivó a los astrónomos a la búsqueda de soluciones más exactas.



Nicolás Copérnico

Nicolás Copérnico propuso su teoría heliocéntrica, en la que el Sol era el centro del Universo y todos los planetas (incluida la Tierra) giraban en torno suyo describiendo órbitas circulares, para

conseguir una mayor exactitud que la dada por el modelo geocéntrico. A pesar de todos los esfuerzos realizados (entre las correcciones Copérnico suponía que el centro del Universo no se hallaba localizado exactamente en el Sol, sino en un punto un poco alejado de éste) el modelo tampoco daba los resultados apetecidos.

La descripción propuesta por Copérnico fue publicada en 1543, unos meses después de su muerte, en un libro titulado ***De Revolutionibus Orbium Coelestium*** y aunque en el prefacio se decía que la revelación divina era la única fuente de verdad y que los tratados astronómicos sólo pretendían "salvar los fenómenos", las autoridades religiosas de la época rápidamente vieron en sus páginas afirmaciones heréticas. La Iglesia Católica colocó a De Revolutionibus en su índice de libros prohibidos; Calvino comentaba: *"¿Quién se aventurará a poner la autoridad de Copérnico por encima de la del Espíritu Santo?"* y Lutero sentenciaba: *"este loco quiere alterar toda … la astronomía, pero la Escritura nos dice que Josué Sagrada ordenó detenerse al Sol y no a la Tierra"*


NICOLAI
COPERNICI TO
RINENSIS DE REVOLVTIONI-
bus orbium coelestium,
Libri VI.
IN QVIBVS STELLARVM ET FI-
BASILEAE EX OFFICINA

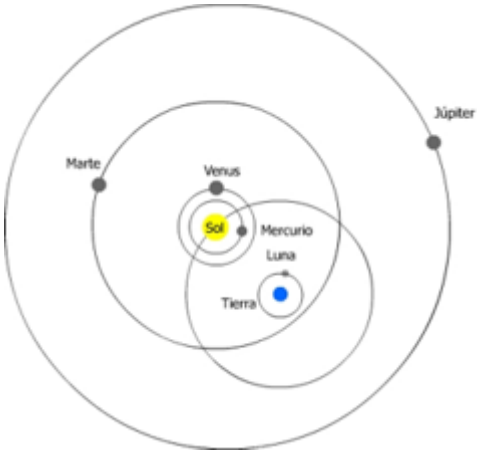
De revolutionibus (1543)

El universo copernicano estimaba que la esfera de las estrellas debería estar a una distancia mínima de la Tierra mucho mayor que la considerada por Tolomeo (unas 400.000 veces mayor). El tamaño del universo se hacía ahora indefinido y, como admitía el mismo Copérnico, su tamaño podía ser infinito.

Años más tarde, el 11 de noviembre de 1572, ***Tycho Brahe*** (1546-1601), un astrónomo danés, miraba despreocupadamente al cielo durante el paseo que acostumbraba a dar después de cenar. En la constelación de Casiopea vio algo inesperado:

> *"Sorprendido, como desconcertado y estupefacto, permanecí quieto durante un tiempo con los ojos intensamente fijos en ella y observé que esa estrella estaba situada cerca de las estrellas que la Antigüedad atribuía a Casiopea. Cuando me convencí de que ninguna estrella de esa clase había brillado nunca antes, caí en tal perplejidad, por lo increíble del suceso, que empecé a dudar de mis propios ojos."*

Tycho contemplaba la aparición de una nueva estrella en la constelación de Casiopea (era lo que ahora llamamos una supernova). Lo asombroso, lo que motivaba la estupefacción del astrónomo, es que la nueva estrella estaba situada en la región del universo que la física aristotélica (aún vigente) consideraba eterna e inmutable.



Modelo de Tycho Brahe

Pocos años después, en 1577, un brillante cometa apareció en los cielos. Aristóteles consideraba que los cometas eran fenómenos que tenían lugar en la atmósfera terrestre, en el mundo sublunar, cambiante e imperfecto. Tycho midió con cuidado la distancia a la que el cometa se encontraba y llegó a la conclusión de que su órbita se situaba mucho más allá de la de la Luna. Para Aristóteles en las regiones situadas más allá de la Luna no podía haber cambios

Tycho no era copernicano. A partir de los innumerables datos acumulados de las posiciones de las estrellas y los planetas, elaboró un modelo de compromiso en el que el Sol giraba alrededor de la Tierra y los demás planetas lo hacían alrededor del Sol.

Johannes Kepler (1571- 1630) había estudiado la teoría heliocéntrica de Copérnico y había

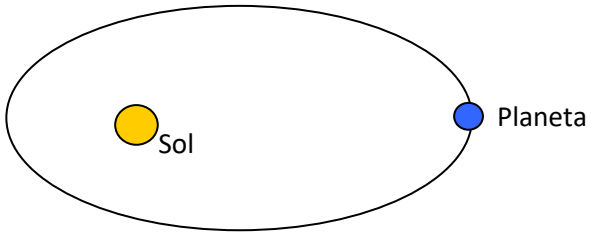


trabajado con Tycho, aunque éste siempre se había negado a suministrarle los datos de sus observaciones. Sin embargo, a la muerte de Tycho (1601), Kepler es nombrado su sucesor (aunque con una paga considerablemente más baja) y con los datos de las órbitas planetarias a su disposición consigue elaborar (tras seis años de trabajo) una teoría que describía con gran precisión las órbitas descritas por los planetas alrededor del Sol. Comprende que la fascinación que sus antepasados sentían por las órbitas circulares no se correspondía con la realidad. Los planetas no se mueven describiendo circunferencias, sino elipses.

Kepler logra explicar el movimiento planetario a partir de las siguientes leyes:

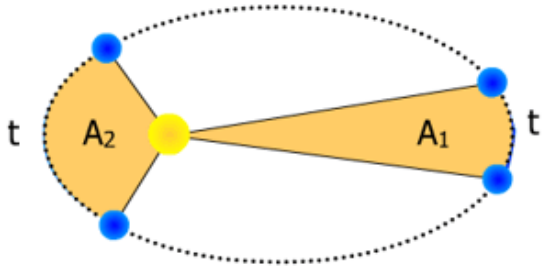
Primera Ley (1609)

Los planetas se mueven alrededor del Sol no en círculos, sino en órbitas elípticas, estando el Sol situado en uno de sus focos.



Segunda Ley (1609)

Los planetas describen sus órbitas no con velocidad uniforme, sino de una forma tal que la línea que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales



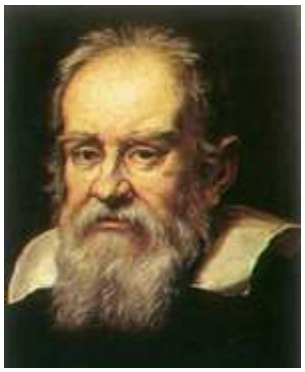
$$A_1 = A_2$$

Tercera Ley (1619)

$$v_1 = \frac{A_1}{t} \qquad v_2 = \frac{A_2}{t} \qquad v_1 = v_2$$

Los cuadrados de los periodos de revolución (T) son proporcionales a los cubos de las distancias promedio de los planetas al sol (r):$\mathbf{T^2 = k\, r^3}$ donde k es una constante de proporcionalidad (constante de Kepler). La distancia promedio (r) coincide con el valor del semieje mayor para órbitas elípticas.

Galileo Galilei (1564-1642), aunque no inventó el telescopio, fue el primero que lo utilizó para observar la Luna, los planetas y las estrellas. Cuando observó la Luna comprendió que no estaba formada por éter, tal y como Aristóteles sostenía, sino que en su superficie se apreciaban montañas y cráteres similares a los que había en la Tierra.



Cuando dirigió su telescopio a Júpiter descubrió cuatro lunas que giraban alrededor del planeta (Io, Europa, Ganímedes y Calixto). Venus presentaba fases como la Luna y, además, el telescopio revelaba que las estrellas no se distribuían sobre la superficie de una esfera. Había muchas más estrellas, invisibles a simple vista, y que parecían estar situadas "más allá". El cielo no era una esfera, era profundo.

Galileo publicó sus observaciones en 1610 en un libro titulado ***Sidereus Nuncius*** (El mensajero de las estrellas) en el que se mostraba partidario del sistema copernicano: vivimos en un sistema solar dentro de un universo inmenso.

Sin embargo, las cosas no rodaron del todo bien para Galileo, la Inquisición puso sus obras en el punto de mira de la ortodoxia y tras un largo juicio se vio obligado a abjurar de sus ideas. El 22 de junio de 1633 Galileo (que entonces tenía sesenta y nueve años), arrodillado en el claustro de ***Santa María sopra Minerva***, jura *"… abandonar totalmente la falsa opinión de que el Sol es el centro del universo y que no se mueve, y que la Tierra no es el centro del universo y que se mueve…" "… con sinceridad de corazón y no fingida fe abjuro, maldigo y aborrezco los mencionados errores y herejías…"*

Cuenta la leyenda que tras pronunciar su juramento Galileo musitó en voz baja "Epur si muove" (a pesar de todo, gira).

En 1980 el papa Juan pablo II ordenó que se reabriera el proceso a Galileo para rehabilitarlo.

Isaac Newton (1642-1727) fue quien terminó de forma definitiva con la concepción aristotélica del mundo. En 1687 publica ***Philosophiae Naturalis Principia Matemática*** (Principios Matemáticos de la Filosofía Natural) donde enuncia las tres leyes de la Dinámica y la Ley de Gravitación Universal, según la cual todos los cuerpos se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. La fuerza que hace caer la manzana sobre la superficie de la Tierra es la misma que mantiene los planetas orbitando alrededor del Sol, liga las galaxias entre sí y mantiene unido a todo el universo. La aplicación de la Ley de Gravitación Universal al movimiento de los planetas permite deducir las leyes de Kepler. La naturaleza de la fuerza de gravedad condiciona que las órbitas planetarias sean elipses, que la velocidad areolar (rapidez con que el radio vector barre el área) de los planetas sea constante o que se verifique la tercera ley. La dinámica de Newton fue, tal vez, la primera gran teoría unificadora de la Física. Las leyes de la dinámica y la ley de gravitación confirmaron el sistema copernicano y abrieron la puerta de un vasto universo inexplorado.

