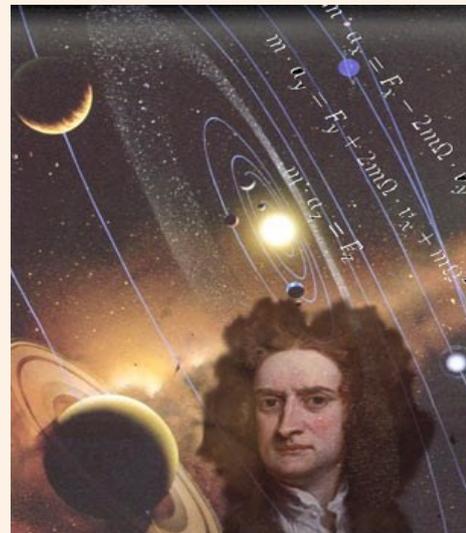
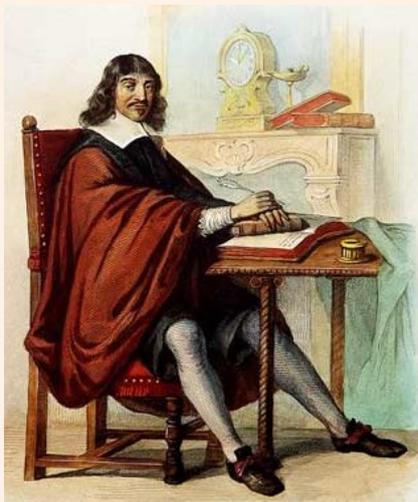
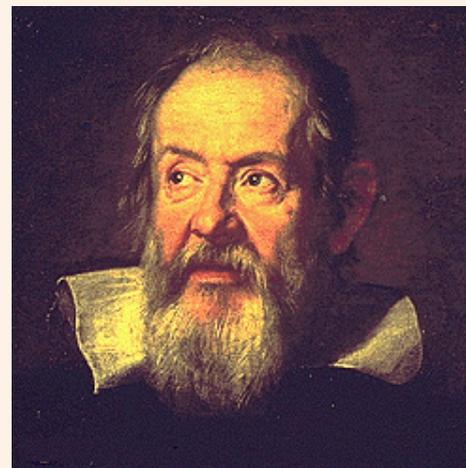
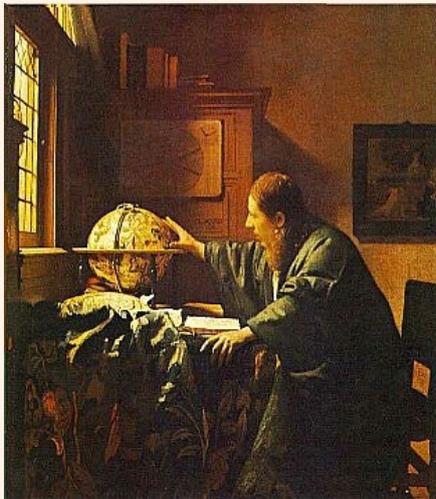
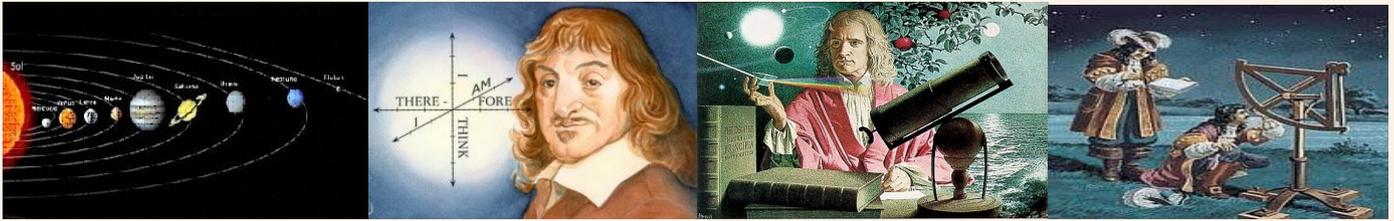




El inicio de la modernidad. De Galileo a Newton



**MATERIAL DIDÁCTICO RECOPIADO Y
ELABORADO POR:
DULCE MARÍA DE ANDRÉS CABRERIZO**



ÍNDICE

Numeración	Epígrafe	Página
1	La ciencia moderna.	3
2	Galileo Galilei: el amanecer de la ciencia.	4
3	Descartes.	11
4	Huygens.	14
5	Newton.	16
6	Actividades.	27





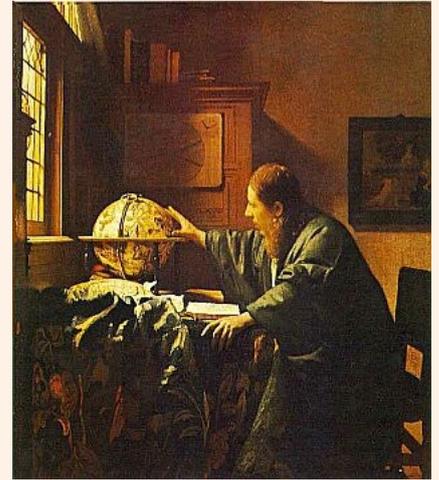
1. La ciencia moderna

La ciencia, es decir, la ciencia moderna, tiene dos raíces históricas:

- La técnica o la práctica.
- La filosofía o el pensamiento.

Estas dos raíces dieron origen a dos tradiciones de naturaleza diferente y desarrollos separados en casi todas las civilizaciones, salvo aproximaciones concretas y esporádicas. En la crisis de lo Medieval y alborar de la Modernidad ambas tradiciones comienzan a converger en la Ciencia y ésta adquiere autonomía, independizándose de la Filosofía y sirviendo de fundamento a la Técnica.

Las Matemáticas dejan de ser un determinante a priori de la naturaleza. Copérnico y el Kepler de su primera época utilizan una Matemática de naturaleza metafísica aceptando las ideas de Platón, donde los cuerpos celestes son necesariamente esféricos y las órbitas circulares, por lo que las formas matemáticas y las armonías determinaban la estructura del Universo. De esta forma, constituyendo parte de la lógica del método científico, las Matemáticas se convierten en instrumento neutral de investigación.



La Astronomía es la Ciencia por excelencia en el inicio de la Ciencia Moderna.

El cambio tiene lugar prioritariamente en el ámbito de la Mecánica, en la que los ingenieros han realizado numerosos experimentos, aunque no creado nuevos cuerpos de doctrina. La vieja Mecánica fue rechazada y ridiculizada, por Galileo quien funda la nueva Mecánica. Por esto, por su actitud y por su compromiso Galileo es el prototipo del hombre de ciencia moderno, del hombre nuevo de la Modernidad.

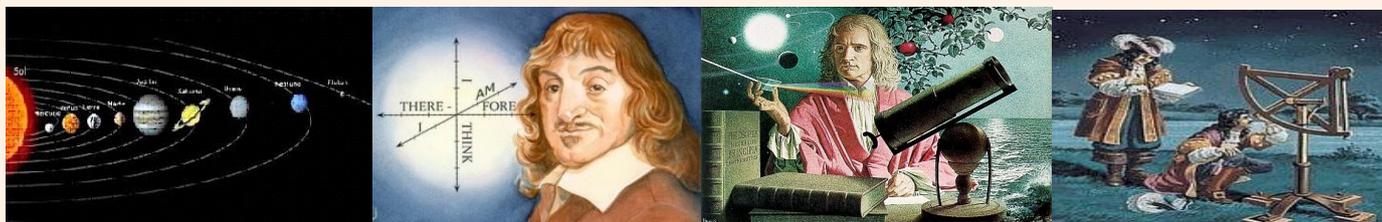
El telescopio inicia su vida en la Astronomía con la Modernidad y se convierte en el medio fundamental para el inicio y desarrollo de la Revolución Científica y con la utilización de dicho instrumento comienza la etapa "óptica" de la Astronomía.



La Academia Real de las Ciencias de París en una sesión con el rey Louis XIV.

Las principales obras sobre las que se edifica la Revolución Científica entre 1600 y 1650 son de Galileo, Kepler y Descartes. Posteriormente Newton construirá el resto del edificio y Kant lo rematará.

El sistema del mundo newtoniano constituye la referencia fundamental del pensamiento de la



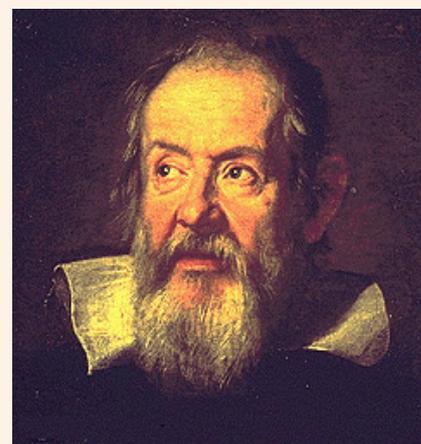
2. Galileo Galilei: el amanecer de la ciencia

A pesar de la existencia de precursores como Copérnico, el padre de la Modernidad es Galileo Galilei (1564-1642). Nace en Pisa en 1564 y ya como estudiante en la Universidad de Pisa su mente científica fue aflorando mediante cuidadosas observaciones como la del balanceo de un candelabro suspendido de la catedral, que no le permitió resolver el problema del péndulo, que lo hará más tarde Huygens. En 1586 publicó un pequeño libro con el proyecto de fabricación de una balanza hidrostática, y el análisis de los problemas de la Mecánica le llevan al estudio de la Astronomía.

Después de su etapa como profesor en Pisa pasa a Padua, donde mantiene una interesante correspondencia con Kepler. Así en 1597, en una carta a Kepler le manifiesta que desde hace años es partidario de la teoría de Copérnico. En 1604 habla de la nueva estrella aparecida en 1572 y desaparecida en 1574 en la constelación de Sagitario. Ello le permite arremeter en sus clases de Padua, rebosantes de público, contra la concepción aristotélica-escolástica de la inmutabilidad de los cielos, al quedar claro que los cielos son alterables.

En 1609 Galileo recibe la noticia de que se han construido instrumentos ópticos que aumentan el tamaño de los objetos distantes. Investiga las propiedades ópticas de diferentes combinaciones de lentes y construye varios telescopios que emplea en sus observaciones astronómicas. Contempla una multitud de estrellas, y la noción de infinitud ya no es sólo un recurso para la especulación, sino que se presenta como "intuible" dada la inmensidad de los cielos. De esta forma, el recurso al infinito, noción característica de la Modernidad, se abre camino. También en 1609 Galileo descubre en la Luna cráteres y montañas, cuya altura estima a partir de la sombra que proyectan y concluye que los astros no son perfectos, por lo que la tensión con los aristotélicos-escolásticos crece considerablemente. En 1610 descubre las manchas solares, por lo que los cielos son corruptibles y la guerra con los escolásticos se desencadena. Galileo es gloria de la humanidad, pero comienza su persecución.

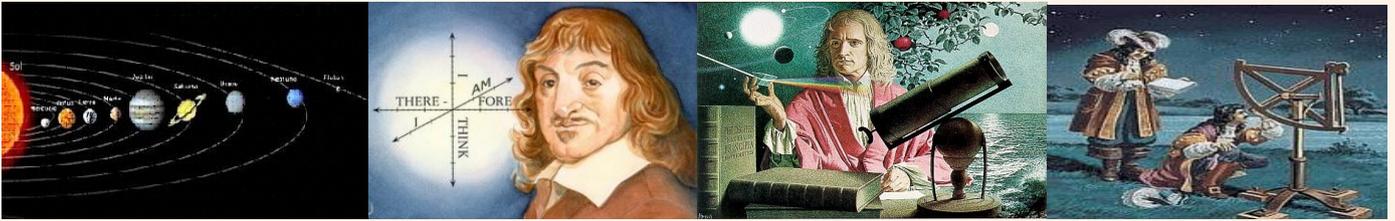
Sus observaciones son de naturaleza cualitativa y su autoridad (la de la Ciencia) se opone a la de Aristóteles (Filosofía) y a la de la Iglesia (Teología). Manifiesta que existen diferentes centros de rotación en el mundo: el Sol (tesis copernicana), la Tierra (con su satélite la Luna) o Júpiter (con sus cuatro lunas), independientemente del sistema del mundo



Galileo Galilei.

Principales observaciones realizadas por Galileo con su ante-ojo:

- Los satélites de Júpiter. Descubrió 4 con lo que dejó sin justificación la idea de Aristóteles de que en el Cielo sólo había 7 astros, aparte de las estrellas fijas y como estos satélites giraban en torno a Júpiter y no en torno a la Tierra iba contra el geocentrismo, además de disminuir la posibilidad de que la Tierra fuese el centro del Universo.
- Las manchas solares: lo que implicaba que el Cielo no era inmaculado y puro como pretendían los aristotélicos.
- La superficie de la Luna no era perfectamente lisa, sino que era rugosa como la Tierra y tenía cráteres.
- La existencia de innumerables estrellas, lo que hacía plausible la hipótesis de una extensión del Universo mayor de la esperada.



En 1613 en una carta manifiesta sin rodeos la necesidad de delimitar los campos de la Teología y de la Ciencia para evitar injerencias y expone la tesis de la conveniencia de interpretar las escrituras en sentido simbólico y no literal. En 1615 es convocado a Roma por las Inquisición que le obliga a abjurar de la teoría copernicana en 1616 (la rotación de la Tierra y el movimiento de ésta alrededor del Sol se declaran oficialmente falsas y la obra de Copérnico se incluye en el Índice de los Libros Prohibidos).

En 1632 publica su obra maestra: "Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo", donde dos personajes, uno, Simplicio, encarnando a Tolomeo y otro, Salviati, la doctrina de Copérnico, exponen sus puntos de vista ante un inteligente profano, Sagredo, las características respectivas del sistema tolemaico y del copernicano. Pese a su aparente neutralidad, el Diálogo esconde una clara apología de las ideas copernicanas que no escapan a los poderosos jesuitas de la época, consiguiendo que en 1633 el Santo Oficio abra un proceso contra Galileo por sospecha de herejía.

El Papa fue persuadido de que Simplicio, la figura que representaba la doctrina de Tolomeo era una caricatura insultante de él mismo, por lo que Galileo fue llevado ante la Inquisición por herejía. Viejo y enfermo, Galileo se ve forzado a comparecer ante el Tribunal de la Inquisición en Roma. Acusado de mantener la doctrina, falsa y contraria a las Sagradas Escrituras, de que el Sol es el centro del mundo y de que no se mueve de este a oeste, y de que la tierra se mueve y no es el centro del mundo. Galileo es reconocido culpable, y ante el ejemplo de Bruno fue prudente y renunció a toda doctrina que se apartara de la tolemaica, obligado a abjurar de las ideas de Copérnico y condenado a prisión; el Papa le conmuta la pena por la del aislamiento en Arcetri, cerca de Florencia en donde murió en 1642.

Aunque vigilado por la Inquisición, es en su retiro forzoso donde concreta la totalidad de sus investigaciones sobre los problemas de la Física en su obra máxima de Los Discursos, aunque para ello tuvo que ser publicada en la libre Holanda, lejos de Roma, por la famosa casa editorial de los Elzevir.

Hay que decir que Galileo no estableció definitivamente el copernicanismo, sólo lo apoyó eficazmente y lo difundió en auditorios de amplitud mayor que el de matemático, filósofo y astrónomo polaco. Su preocupación cualitativa y no matemática de la astronomía hizo que no superara el prejuicio de los movimientos circulares y uniformes de los astros. No obstante, destruyó el cuerpo doctrinal filosófico aristotélico-escolástico. Asombrosamente, y a pesar de su amistad



Representación del juicio a Galileo.

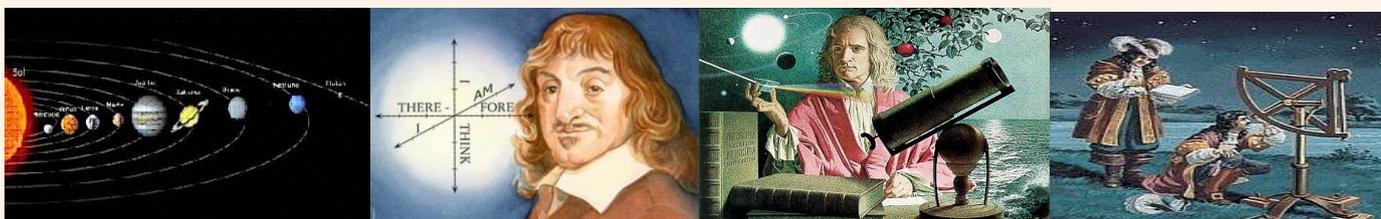


Telescopio o antejo de Galileo.



DIALOGO
 DI
GALILEO GALILEI LINCIO
 MATEMATICO SOPRARDINARIO
 DELLO STUDIO DI PISA.
 E Filosofo, e Matematico primario del
 SERENISSIMO
 GR.DVCA DI TOSCANA.
 Dovera in i congressi di quattro giornate di Discorre
 sopra i due
 MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
 TOLEMAICO & COPERNICANO.
 Propositi indoveramente di ragion Filosofo, e Natural
 tanto per l'una, quanto per l'altra parte.
 CON FRI VILEGL
 IN FIRENZA, Per Gio: Batista Landini MDCCXXII.
 CON LICENZA DI S. M. S. S. S. S.

El "Diálogo".



En 1638 Galileo publica su obra cumbre "Los Discursos", que se puede considerar como el primero y verdadero libro de texto de la Física, y en donde desarrolla la nueva ciencia del movimiento, clasificando el movimiento con exactitud y elegancia al manejar los conceptos de aceleración e inercia con admirable seguridad, de esta forma, conceptos como movimiento uniforme o uniformemente acelerado quedan establecidos de una forma concisa, estudios como la composición del movimiento son presentados como ejemplos prácticos del análisis de la trayectoria de los proyectiles y, finalmente, por primera vez, el movimiento de caída libre está descrito matemáticamente, aunque para buscar la respuesta hace uso de una hipótesis metafísica: la clásica convicción de que la naturaleza realiza en sus leyes relaciones simples.

Los problemas discutidos en Los Discursos se extienden a casi todos los dominios de la Física conocidos en la época: la Estática de los gases y de los líquidos, la Elasticidad, la Acústica y la Óptica, son enriquecidas con las contribuciones del poderoso pensador Galileo y de sus sucesores.

Los conocimientos de Galileo de Mecánica, la Nueva Mecánica, facilitan su visión astronómica. Así, el principio de inercia facilita la comprensión de la rotación de la atmósfera en la Tierra, de forma que los objetos no caen desplazados hacia el oeste.

La ciencia moderna galileana integra: a) El conocimiento filosófico. b) La experiencia como origen insoslayable del conocimiento científico. c) La Matemática como instrumento neutral para el descubrimiento de las leyes de la naturaleza, y la otorga un carácter racional para la interpretación.

En Galileo confluye la línea filosófica (especulación e imaginación de Aristóteles); la línea matemática (Arquímedes) y la línea experimental (Bacon). Esta conjunción hace de Galileo el "prototipo de hombre moderno y su consideración como genio. Las tres líneas, procedimientos, tipos o fuentes de conocimiento independientemente son importantes, juntas facilitan una obra tan importante como la de Galileo. En su visión de científico, por lo que respecta al conocimiento, no en su actitud ante los hombres, es "humilde". La Ciencia no es inmutable, ni cerrada, ni segura; la observación, la experimentación y la razón conducirán a una ciencia mejor. Galileo pone las bases y divisa humildemente la tarea que otros harán más adelante. A pesar de la inercia del espíritu humano, la idea conductora del método galileano, hipotético-deductivo, pronto se va im-



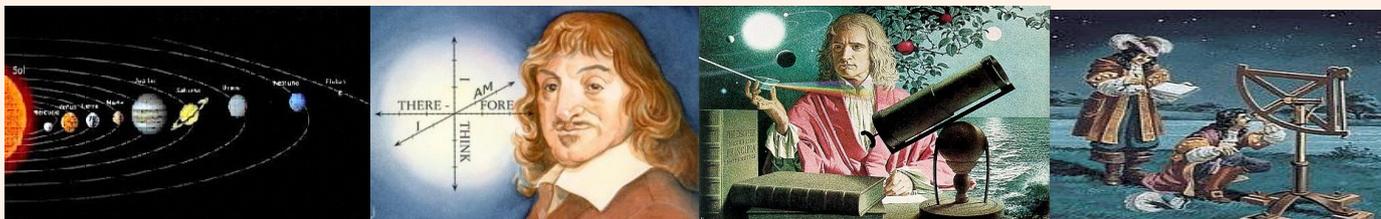
Tumba de Galileo.

El 31 de octubre de 1992 el Papa Juan Pablo II reconoció públicamente los errores cometidos por el tribunal eclesiástico que juzgó las enseñanzas científicas de Galileo.

Galileo nunca fue torturado y fue condenado a "formalem carcerem", una especie de reclusión domiciliaria. Varios de sus jueces se negaron a suscribir la sentencia y el Papa no la firmó.

A Galileo se le juzgó no por su tesis científica, sino por ir en contra de la interpretación oficial de la Biblia.

Hay que decir que antes del Papa Juan Pablo II, la Iglesia reconoció su error y en 1741 cuando se alcanzó la prueba óptica del giro de la Tierra alrededor del Sol, el Papa Benedicto XIV mandó que el Santo Oficio concediera el imprimatur a la primera edición de las obras completas de Galileo, lo que supuso su rehabilitación como científico y como persona.



2.1. La continuación de la labor de Galileo

Hay que decir también que a la difusión de las ideas científicas contribuye enormemente las sociedades científicas que se crean en las décadas posteriores a la muerte de Galileo como la Academia del Cimento en Florencia entre 1651 y 1667, la Royal Society fundada en Londres en 1602 o la Academie Royale des Sciences fundada en París en 1666.

Así, entre los investigadores de los miembros de la Academia del Cimento se puede destacar a Evangelista Torricelli (1608-1647), que prolongó directamente la obra de Galileo. En dicha Academia se mejoraron notablemente los instrumentos para medir la temperatura, reconocieron la necesidad de adoptar dos temperaturas fijas para la graduación del termómetro y, provistos de sus termómetros, sometieron numerosos fenómenos calóricos al examen experimental, llegando a la conclusión de que distintas sustancias tienen diferentes capacidades calóricas, pero sin lograr hacer una clara distinción entre cantidad de calor y temperatura.

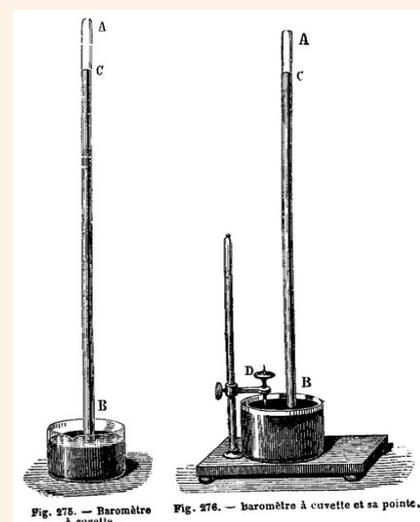
En 1644 estableció el principio que lo haría pasar a la posteridad: el principio del barómetro, que demostraba la existencia de la presión atmosférica. Aunque el mencionado experimento ha pasado a la historia por la importancia del barómetro y de la medida de la presión atmosférica, la motivación inicial de Torricelli para realizar este experimento fue refutar la teoría aristotélica de que "la naturaleza tiene horror al vacío". La unidad de presión torr se nombró en su memoria. Enunció, además, el teorema de Torricelli, de importancia fundamental en hidráulica.

Entre los descubrimientos que realizó, se encuentra el principio que dice que si una serie de cuerpos están conectados de modo tal que, debido a su movimiento, su centro de gravedad no puede ascender o descender, entonces dichos cuerpos están en equilibrio. Descubrió además que la envolvente de todas las trayectorias parabólicas descritas por los proyectiles lanzados desde un punto con igual velocidad, pero en direcciones diferentes, es un paraboloide de revolución. También realizó importantes mejoras en el telescopio, siendo numerosas las lentes por él fabricadas y grabadas con su nombre que aún se conservan en Florencia.

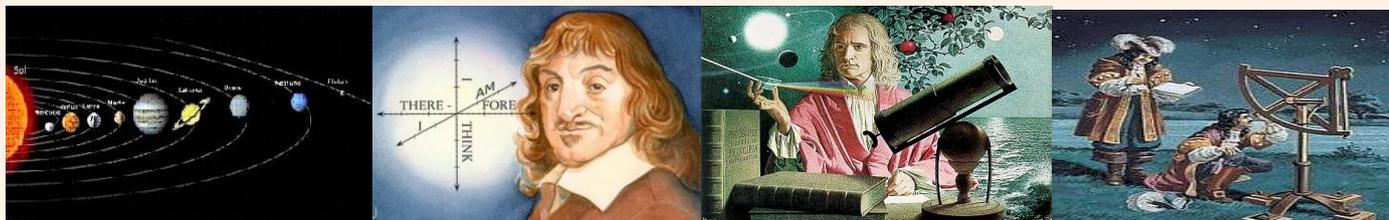
Los experimentos de Torricelli fueron bien pronto conocidos fuera de Italia y, así el matemático y filósofo francés Blaise Pascal (1623-1662) concibió el proyecto de comparar, con la ayuda de



Evangelista Torricelli.



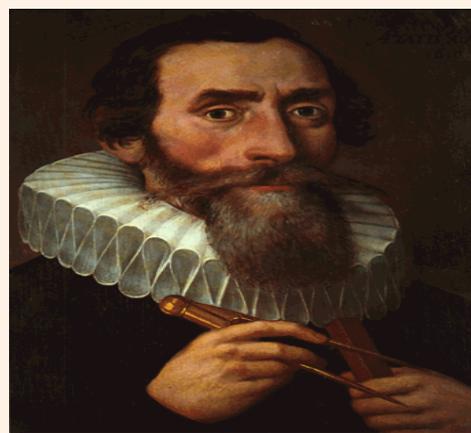
Principio de Torricelli del barómetro recogido en un libro de texto francés.



2.2. Kepler y su relación con Galileo

El astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) es en 1593 es ya profesor de matemáticas en Graz (Austria), aunque para su sustento debe compaginar dicha tarea con la de la lectura del horóscopo, por su gran habilidad como astrólogo. En 1597 las disputas religiosas eran intensas en Graz, por lo que abandona dicho lugar y en 1600 se instala en Praga aceptando el empleo de asistente del anciano Brahe, de quien recibe un extraordinario caudal de datos astronómicos.

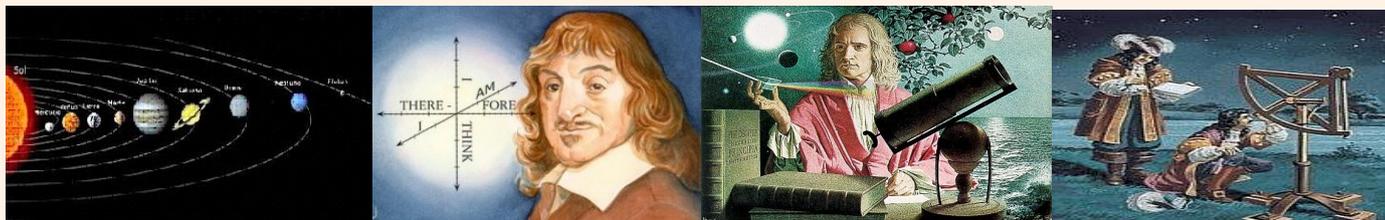
Los datos de Copérnico eran librescos y fueron revisados por las observaciones del danés Tycho Brahe (1546-1601). Dos de sus observaciones causaron un especial impacto: la comprobación de la aparición de una nueva estrella de Casiopea en 1572 y, además, su desaparición en 1574, por lo que quedaba refutada la supuesta inmutabilidad de las sustancias celestes, y, por otra parte, sus observaciones del cometa de 1577 mostraron que éste no tenía una órbita circular sino ovalada. Pero Brahe, aún siendo un incomparable observador astronómico, fue un teórico miope al rechazar el sistema copernicano y elaborar una teoría mixta, destinada a salvar las apariencias respetando las objeciones de los aristotélicos. Al final de su vida, al perder el favor de los reyes daneses, se estableció cerca de Praga bajo la protección del emperador Rodolfo II, teniendo en estos últimos tiempos como ayudante a Kepler, a quien legó su registro y programa de observaciones. En 1596, Kepler publica "El misterio del Universo" en donde se considera copernicano y busca armonías entre las proporciones de las órbitas circulares planetarias "encajando" poliedros regulares en las esferas de los planetas. Hacia 1605, Kepler abandona la tesis de que las órbitas de los cuerpos celestes fuesen reductibles a circunferencias, simples o compuestas. En 1609 en sus "Comentarios sobre los movimientos de Marte" establece las dos primeras leyes del movimiento planetario: 1ª. Los planetas describen órbitas elípticas en uno de cuyos focos está el Sol y 2ª. El segmento variable Sol-planeta barre en el plano orbital áreas iguales en tiempos iguales. En 1619 en su "Armonía del mundo" enuncia la tercera ley: 3ª. Los cuadrados de los tiempos de revolución de dos planetas cualesquiera alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de sus distancias medias. Kepler pasó el resto de sus años completando nuevas tablas de movimientos planetarios, para lo que utilizó los recién inventados logaritmos de Neper en sus cálculos. En



Retrato de Kepler. En 1620 la madre de Kepler es encarcelada por bruja, lo que le afectó enormemente, aunque Johannes logró que fuera puesta en libertad, murió al poco de tiempo de salir de la prisión. A pesar de los problemas familiares, sus dificultades económicas, las guerras de religiones e inquietudes religiosas, Kepler logró sacar adelante su trabajo como brillante matemático y astrónomo.

Kepler con su:

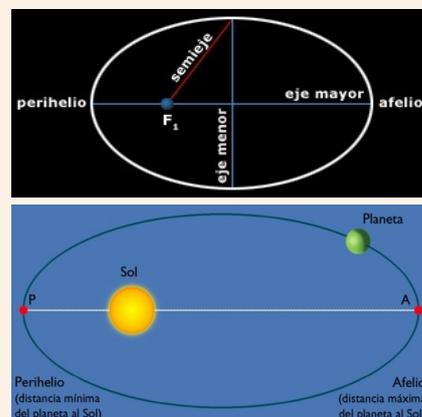
- Primera ley elimina la idea trascendental de la circularidad y la idea de las esferas.
- Segunda ley elimina la idea de la uniformidad de la velocidad del movimiento, pues la velocidad es mayor en el afelio (punto de la órbita más cercano al Sol) y menor en el perihelio (punto más lejano).
- Tercera ley unifica los movimientos de todos los planetas y es el fundamento para considerar la existencia de un sistema solar.



Por otro lado, Kepler enriqueció la óptica con importantes investigaciones. La ley fundamental de la fotometría es suya. Sin conocer la ley exacta de la refracción, crea los fundamentos de la teoría de los instrumentos ópticos. El fenómeno de la reflexión total es también un descubrimiento kepleriano y crea la primera teoría moderna de la visión, explicando que la imagen se forma en la retina. La ley general de la refracción fue encontrada por el holandés Willebrord Snell (1591-1626), matemático de la Universidad de Leiden, quien en 1621 descubrió la famosa relación matemática de la refracción en términos de cosecantes. Durante mucho tiempo se atribuyó a Descartes la paternidad de esta ley, pero en realidad lo único que hizo el filósofo francés fue traducir la relación matemática de cosecantes a términos de senos, enunciando la ley en su forma actual. No se puede abandonar el estudio de Kepler sin realizar un análisis comparativo entre Galileo y Kepler. Aunque las divergencias científicas y filosóficas de ambos personajes son grandes, ambos coinciden en un punto muy importante al ligar para siempre las matemáticas y la física, Kepler desde la astronomía y Galileo desde la filosofía natural (física).

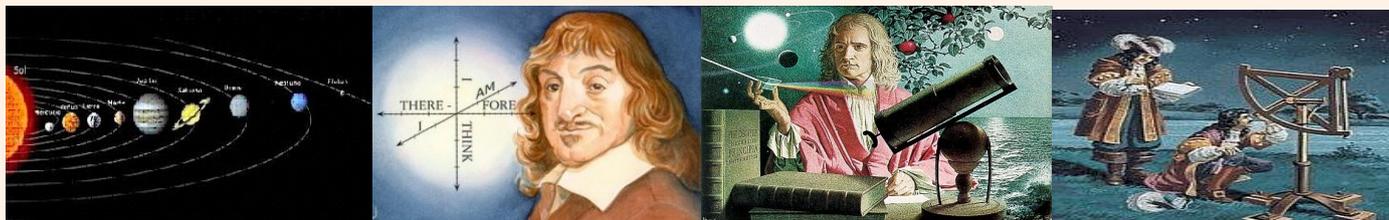
Galileo y Kepler son coetáneos; saben de la existencia uno del otro, pues se escriben, pero no se conocen. Constituyen un caso llamativo y de fuerte contraste dado que ambos se dedican a lo mismo. La razón se puede hallar en la tormentosa época que tuvieron que vivir de convulsiones religiosas, con Galileo en la zona católica y Kepler en la protestante. Kepler era un astrónomo que se percató de que las matemáticas no bastaban, debiendo complementarse con el estudio de las causas físicas de los movimientos planetarios. Galileo era un físico que constató que el estudio del mundo de los elementos materiales no podía abordarse sin ayuda de las matemáticas y que como consecuencia de sus descubrimientos astronómicos vio la posibilidad de aplicar la física terrestre a los cielos supuestamente etéreos. Ambos, rompen el círculo como curva privilegiada y única de la cosmología tradicional, introduciendo secciones cónicas: Kepler la elipse para las órbitas planetarias y Galileo la parábola en los proyectiles.

Galileo utiliza en astronomía el telescopio, pero su método es cualitativo (método contrario al utilizado por él en las ciencias terrestres); su gran obra es la dinámica terrestre: caída de los cuerpos, lanzamiento de proyectiles y ley de la inercia. Por el contrario, Kepler se ocupa de ordenar, sistematizar y sacar conclusiones de los datos de Brahe, pero no utiliza el telescopio. Kepler preten-



El trabajo de Kepler representa:

- La introducción por primera vez de órbitas elípticas supone la ruptura con la geometría astronómica previa; termina con las nociones de "regularidad" y de "perfección" concedidas clásicamente a la circunferencia.
- El movimiento no sólo no es regular (circular) sino que tampoco es uniforme; esto supone la ruptura con la cinemática anterior.
- Admite la existencia de un orden basado en las irregularidades anteriores y tiene fe en la posibilidad de expresar matemáticamente dicho orden. Posteriormente se dirá que las regularidades no son de formas (geometría) ni de movimientos.
- Kepler consume casi por completo, con la fuerza de los datos y de los cálculos matemáticos la destrucción de los aspectos geométricos y cinemáticos del sistema tolemaico. De los elementos filosóficos aristotélico-escolásticos, que Kepler deja casi intactos, ya se había encargado Galileo de destruirlos.



La aportación de Galileo es más radical y de mayor impacto inmediato que la de Kepler, pues cualquiera podía contemplar las montañas de la Luna, las fases de Venus o los satélites de Júpiter; mientras que la de Kepler es de difícil difusión, pues sólo matemáticos expertos pueden convencerse de sus hallazgos. Por tanto, en Astronomía, Galileo tuvo mayor trascendencia pero Kepler aportó novedades científicas de mayor relieve.

En Galileo todo es claro en sus escritos, al respetar fielmente los datos experimentales y elaborar importantes argumentaciones matemáticas sujetos a ellos: Por el contrario, Kepler, aun siendo absolutamente respetuoso con los hechos, los envuelve en especulaciones y argumentos no ya matemáticos, sino metafísicos y místicos, empeñado con su gran imaginación en encontrar los mas secretos arcanos y ocultos planes de la construcción del cosmos, pues no hay que olvidar que Kepler fue hijo de una bruja escapada por los pelos de la hoguera y él mismo, extraordinario confeccionador de horóscopos, fue un astrólogo convencido, por el contrario Galileo nunca utilizó el nombre y la profesión de astrónomo, pues en aquella época en las cortes de Europa lo que se recababa básicamente de los astrónomos era la confección de horóscopos y vaticinios, siendo las observaciones y cálculos propiamente científicos una tarea marginal de dicha profesión.

Para finalizar, hay que decir que aunque no se conocieron, ambos eran conscientes del carácter intelectual del otro, con el que expresan cortésmente su desacuerdo. Así Galileo confesó el haber pensado siempre que Kepler poseía una inteligencia sutil y libre, aunque tal vez demasiado libre. Por su lado, Kepler pensó de Galileo que su proceder era útil y esforzado, pero romo.

Vistas las cosas retrospectivamente, uno no sabe si admirar más la claridad e ilustración de Galileo con la solidez de sus descubrimientos y la coherencia de sus geometrificaciones, o las especulaciones de Kepler, capaces de producir en medio de sus fantasías, joyas como la ley de las órbitas elípticas o la ley armónica que conecta las distancias y los períodos planetarios. En cualquier caso, desde el punto de vista de la síntesis de Newton, al conjuntar la física celeste y la terrestre en una sola, sin desdeñar el trabajo de Galileo, es sobre todo Kepler el que más contribuyó con sus descubrimientos a la realización de dicha síntesis.

Con Galileo y Kepler queda pulverizado científicamente todo el edificio viejo de la Geometría, Cinemática y Filosofía de la Naturaleza. Queda por completar el nuevo edificio; es decir, conocer

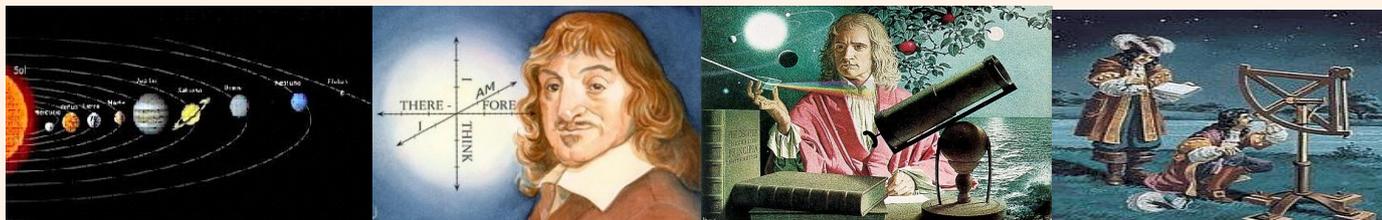


Kepler produce el cambio de actitud de los astrónomos, pues de tratar de reducir el problema a un sistema geométrico (de círculos y esferas) se pasa a considerarlo como un problema matemático de proporciones matemáticas.

Las leyes de Kepler no tienen una base teórica mecánica sólida con los conceptos de la época y son, por tanto, leyes simplemente descriptivas, es decir describen hechos empíricos. Hace falta que Newton describa matemáticamente la gravitación universal para que la Astronomía adquiera fundamento teórico.

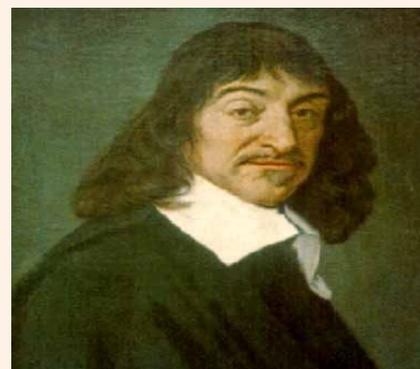


Galileo versus Kepler.



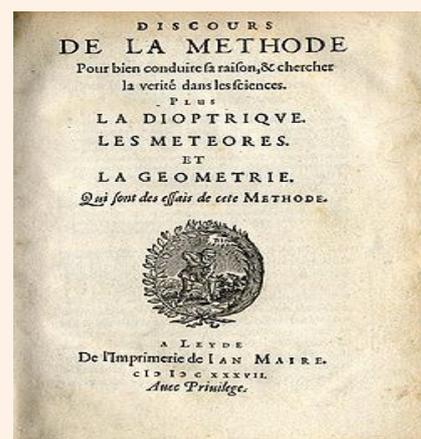
3. Descartes

El filósofo y matemático francés René Descartes (1596-1650) nace en La Haye (cerca de Tours) en 1596, aunque usó su nombre latinizado: Renatus Cartesius. Fue un estudiante brillante educado con los jesuitas, por lo que aunque aceptó pronto la teoría de Copérnico abandonó dicha teoría cuando se enteró de la condena de Galileo por herejía y construyó una teoría ingeniosa, como la de Brahe, en la que colocó a la Tierra apoyada en el centro de un vértice, siendo entonces este vértice el que se movía alrededor del Sol. Tras unos años en el ejército francés durante los cuales no participó en guerra activa, se instaló en 1629 en la Holanda protestante hasta que en 1649 aceptó una invitación de la corte sueca de la reina Cristina, muriendo en 1650 en Estocolmo por efecto del duro invierno sueco y su mala salud crónica.



René Descartes.

Descartes es el padre de la geometría analítica y dado que con Galileo se desata la revolución intelectual llamada científica, cambian muchas cosas y se instaura el método científico como nuevo instrumento de conocimiento, que se está desarrollando en el ámbito de la Mecánica. La tarea de análisis general del método científico lo realiza Descartes en 1637 en su "Discurso del método", principalmente en el campo de las Matemáticas.



Descartes en su Discurso del método:

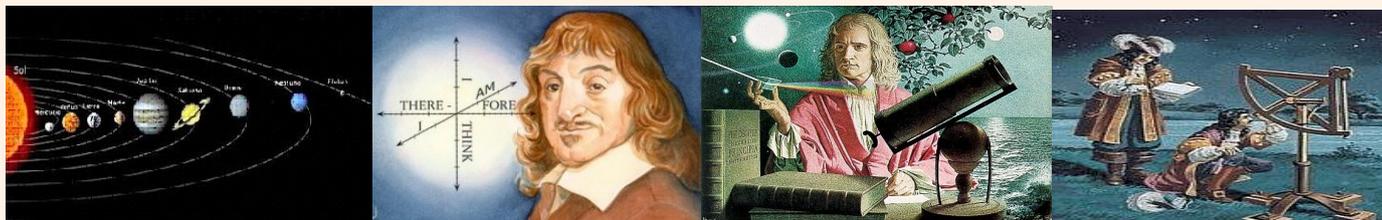
a) Hace un análisis del método matemático deductivo, al establecer unos primeros principios generales que constituyen la base para el desarrollo deductivo y el contraste experimental. Descartes no daba importancia a la experimentación, fuente de conocimiento tan querida por Galileo. En el desarrollo del método crea la geometría analítica, que desarrolla en un apéndice de su libro, con la que establece el sistema de coordenadas y representación de figuras mediante ecuaciones algebraicas.

b) Intenta generalizar dicho método a otros ámbitos del saber diferentes de la Mecánica.

c) Presenta su concepción del mundo físico, que amplía posteriormente en 1644 en sus "Principios de Filosofía".

Descartes, en su célebre "Discurso sobre el método", prescribe el camino a seguir para realizar los descubrimientos, pero él mismo no logró ninguno aplicando su método, asimismo la historia no conoce investigador que siguiendo las reglas tan pomposas y solemnemente expuestas por Descartes haya conseguido un hallazgo importante.

Desde la actualidad se dice que hay tantos métodos científicos como investigadores. La contribución más valiosa de Descartes es la de matemático, al combinar el álgebra y la geometría para el enriquecimiento de ambas, pudiendo de esta manera resolver problemas con más facilidad



Desde la perspectiva filosófica, el pensamiento de Descartes es mecanicista, y se basa en que considera que el universo físico se asemeja a un mecanismo de relojería. Una vez la máquina construida y puesta en marcha por Dios, se daba por supuesto su funcionamiento indefinido sin necesidad de reparaciones o de darle cuerda.

A fin de asegurar que la máquina universal no podía detenerse, Descartes defendió la existencia de un principio de conservación del movimiento. Descartes definió la cantidad de movimiento como el producto de la masa por la velocidad, y es justamente esta cantidad la que poseía el privilegio de permanecer invariante a través de las transformaciones mecánicas. En la cantidad de movimiento vio Descartes una medida de la fuerza, pero no de una acción a distancia, según la idea de Newton. Las dimensiones fundamentales del mundo, además de las tres dimensiones del espacio, hay que incluir también la masa y la velocidad (posteriormente se dirá espacio, masa y tiempo).

La materia la identifica con el volumen, por lo que impregna todo el espacio, lo que hace afirmar que no exista el vacío, ni los átomos con espacios vacíos entre sí. Para Descartes el espacio está lleno de porciones de materia que interaccionan sólo cuando se tocan, las fuerzas de largo alcance, que en la teoría de Newton actúan a través del espacio vacío, se explican desde su punto de vista por la propagación de impulsos a través de una materia etérea que, según él, llenaba el espacio intermedio.

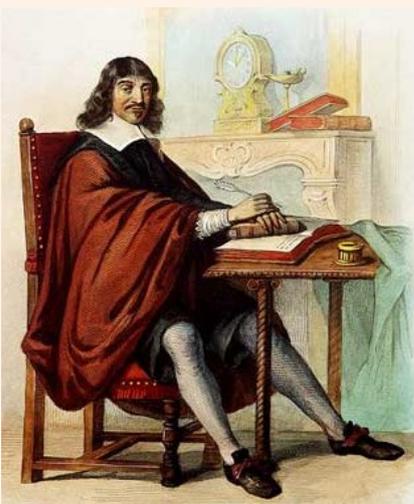
Puede considerarse que Descartes fue el primero en caracterizar correctamente el principio de inercia y en considerar que todos los movimientos son relativos.

Su filosofía natural es radicalmente diferente de la aristotélica. Afirma que la Naturaleza no está ordenada jerárquicamente, todos los seres (mundo inorgánico, planetas, animales y personas) están regidos por las mismas leyes mecánicas. El mundo físico y el orgánico constituyen un sistema homogéneo y mecánico cualitativamente análogo, integrado por entes diversos que verifican leyes cuantitativas mecánicas que pueden conocerse por el método matemático. Independientemente del mundo mecánico existe el mundo espiritual propio de la persona por su alma.

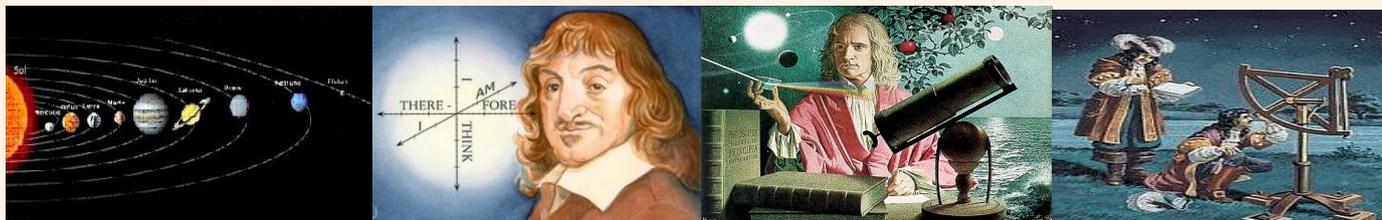
Para Descartes, la naturaleza está gobernada por leyes que son reglas de la Mecánica, las leyes de la Naturaleza, siendo el primero que utiliza en sentido actual esta expresión, que son im-



Descartes en la corte de la reina Cristina de Suecia.



La Modernidad es la era de la continuidad y el continuismo es uno de sus rasgos esenciales del pensamiento de Descartes, ello hace que desarrolle "su mundo" mediante vórtices y torbellinos, lo que en la actualidad no tiene interés alguno.



Como físico, Descartes negó la existencia del vacío en los mismos años de las experiencias de Torricelli y de Guericke, lo cual obstaculizó el avance de la Física en Francia, dada la autoridad de Descartes en otros campos.

En la óptica, Descartes sostuvo una importante discusión con el matemático francés Pierre Fermat (1601-1665), al sostener que ante la refracción, la velocidad de la luz es superior en un medio denso que en uno rarificado. Descartes demostró que esta suposición permite deducir la ley de la refracción, por el contrario Fermat afirmó que si Descartes estuviera en lo cierto, los corpúsculos luminosos deberían encontrar en un medio denso menos resistencia que en otro rarificado. Además, una conclusión correcta no prueba que la premisa sea conforme a la realidad. Fermat afirmó que los fenómenos naturales se cumplen con el máximo de economía: de espacio en la radiación luminosa y de tiempo en la refracción, llegando así a la ley de la refracción sin hacer ninguna hipótesis sobre la naturaleza de la luz, y a la conclusión de que la velocidad de la luz es menor en un ambiente denso. Hay que indicar que Huygens se adhiere a la tesis de Fermat y Newton a la de Descartes. Hasta el siglo XIX no se liquida el litigio entre ambas posturas, cuando Foucault mide con notables experimentos la velocidad luminosa en medios más densos que el aire. Fermat y Huygens ganaran la causa contra Descartes y Newton.



Se desvincula a Dios del estudio del Universo, reduciendo su papel al de creador y diseñador de la máquina del mundo y sus leyes.

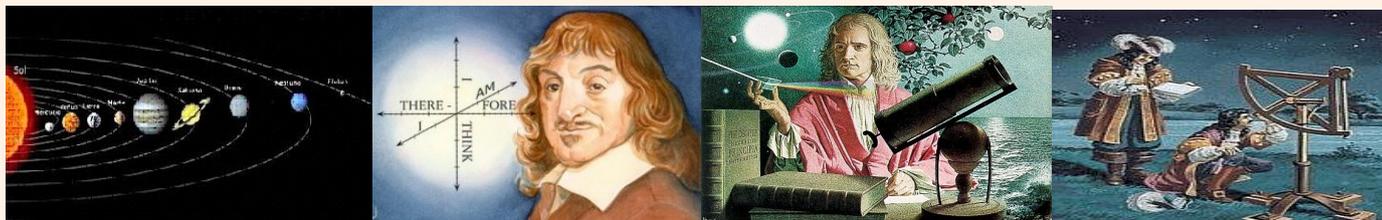
En el campo de las matemáticas, el honor del descubrimiento de la geometría analítica hay que atribuírselo a Fermat, pero como tuvo la mala costumbre de no publicar ninguna obra, perdió los honores en favor de su compatriota. Descartes solo consideró dos dimensiones en su análisis formal, mientras que Fermat utilizó las tres dimensiones, si bien es cierto que a Descartes hay que atribuirle el mérito de desarrollar las virtualidades de la relación entre el álgebra y la geometría. Por último, Fermat junto con Pascal fundó la teoría de las probabilidades.

El Determinismo explica que todo fenómeno de la naturaleza es un proceso mecánico, pues las leyes permiten determinar y predecir su evolución en la medida de que se disponga de datos exactos y podamos tratar toda la información.

El gran hito de la época es el poder de la razón, y el ser humano se siente poderoso por llegar a comprender el funcionamiento de la naturaleza. Se considera que el más alto destino de la persona es hacer uso de la razón.

La ley de conservación de la cantidad de movimiento de Descartes reveló dos serios defectos: El primero que no bastaba para determinar el resultado de una colisión, por lo que Descartes tuvo que añadir varias reglas auxiliares para el análisis de los choques. El segundo que su velocidad era un escalar, mientras que los experimentos indicaban que el resultado de un choque dependía también de las direcciones del movimiento de los objetos que colisionaban. Hay que tener también en cuenta que para Descartes el sentido de la masa es el del tamaño del cuerpo a considerar.

Los problemas de dichos defectos se resolvieron con la introducción de la conservación de otra



4. Huygens

A la muerte de Galileo existen notables científicos, pero el genio siguiente que da la Ciencia nace en Holanda, en donde aparece Christian Huygens (1629-1695). Su principal obra es "Horologium oscillatorium" (El reloj oscilante), publicada en Francia en 1673.

Dicha obra es una magistral síntesis de sus investigaciones mecánicas, donde la descripción del reloj de péndulo no ocupa más que el primero y el último capítulo.

Las investigaciones de Galileo consideraron sólo el péndulo ideal, sin masa apreciable, en cambio Huygens se plantea el problema más complejo del péndulo físico real y define el centro de oscilación introduciendo la cantidad suma del producto de las masas de las partículas por los cuadrados de sus respectivas distancias al punto de suspensión. A dicha cantidad la llamar Euler momento de inercia y proporciona la clave para el cálculo de todo movimiento de rotación.

La posesión de la fórmula que permite calcular el centro de oscilación dio lugar a que Huygens pudiese reducir el péndulo físico al péndulo ideal matemático y hallar la expresión exacta del período de oscilación de éste, así como el cálculo del valor de "g" para un punto dado del globo terrestre.

En 1671 una expedición francesa a Cayena, en la Guayana, al mando de Jean Richer advirtió que la oscilación del péndulo era allí más lenta que en París. La opinión de Richer fue que la causa del fenómeno habría que buscarla en la figura de la tierra, achatada en sus polos, y fue compartida por Huygens, revelando asimismo el motivo al demostrar que la fuerza centrífuga transforma la esfera en un elipsoide de revolución.



Pensador profundo, Huygens reconoció la trascendental preponderancia de la mecánica, fundada por Galileo, adquiriría en la interpretación del mundo físico, escribiendo que las causas de todos los fenómenos naturales se deben concebir en términos mecánicos.



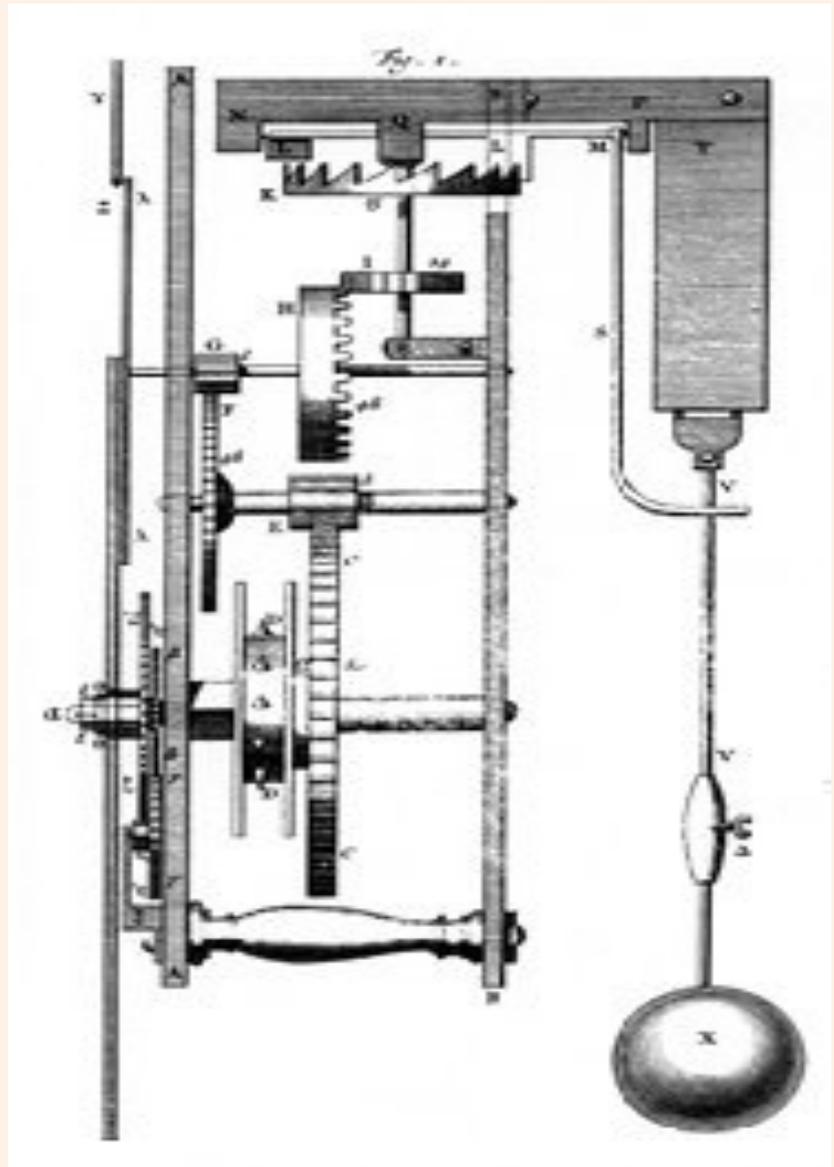
Huygens en su *Horologium oscillatorium* afirma que la fuerza centrífuga surge de la inercia en el movimiento circular de un cuerpo a abandonar la curva para moverse a lo largo de la tangente, y determinó la fórmula conocida de su expresión matemática.

El otro gran libro de Huygens es su *Traité de la Lumière* de 1690 sobre la teoría ondulatoria de la luz, al afirmar que de forma semejante al sonido, la luz es un movimiento vibratorio, pero mientras que las ondas sonoras se propagan en el aire, el lugar de las ondas luminosas es el éter, materia extremadamente sutil y de perfecta elasticidad que impregna a todos los objetos y llena también al vacío.

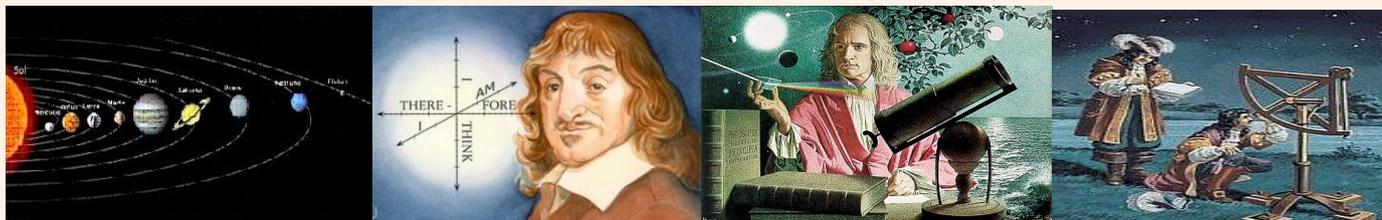
Huygens explica con su teoría la reflexión y la refracción e incluso la doble refracción del espato de Islandia.

Por supuesto que el poder aclaratorio de la teoría de Huygens tuvo sus límites, pues no pudo encontrar una explicación satisfactoria para la propagación rectilínea de la luz y la polarización de la luz.

El motivo de la deficiencia está claro, para Huygens las ondas luminosas, como las del sonido, eran longitudinales y hay que esperar hasta los trabajos de Fresnel para reemplazar las ondas longitudinales por ondas transversales.



Péndulo de Huygens.



5. Newton

El hallazgo de los principios del movimiento o “problema de la gravedad”, es un trabajo fundamental en la historia de la Ciencia. Tiene lugar fundamentalmente en Gran Bretaña dentro de la “escuela inglesa del siglo XVII”, formada por científicos, tales como Isaac Newton, Robert Hooke, Edmond Halley y Christopher Wren. Una vez concluida la versión actualizada del principio de inercia galileano según el cual el movimiento de un cuerpo sobre el que no se ejerce ninguna acción es rectilíneo y uniforme, se plantea el problema de interpretar los movimientos planetarios en el ámbito de la Mecánica. Visto a posteriori el problema se resuelve en dos etapas:

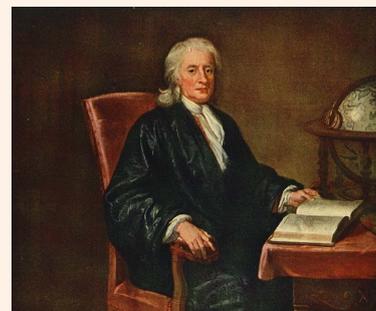
1ª. Determinación de la ley correspondiente a la fuerza centrípeta necesaria para que los planetas giren alrededor del Sol; estas fuerzas centrípetas deben existir ya que el movimiento es curvilíneo y no rectilíneo y uniforme.

2ª. Demostración de que la gravedad es la generadora de dicha fuerza centrípeta; es decir, obtención de la ley de gravitación (expresión de fuerza en función de las masas y de la distancia).

En 1664, Robert Hooke (1635-1703) descubre que la trayectoria del cometa que aparece ese año no es rectilínea sino que se curva en las proximidades del Sol; según él, debido a la atracción gravitatoria solar, pero no encuentra la ley de la fuerza centrípeta necesaria para la explicación del movimiento orbital.

Isaac Newton (1642-1727) nace en Woolsthorpe el día de Navidad del año en que muere Galileo. Fue un hijo póstumo, que compaginó sus estudios elementales con la ayuda en la finca de su madre. Su tío, que era colegial del Trinity College de Cambridge, viendo que su sobrino podía ser un gran genio, urgió para que lo mandaran a su Universidad y en 1665 obtuvo su doctorado. En el curso 1665-1666 se retiró de Cambridge a la finca de su madre, huyendo de la peste y resolvió el problema de la gravedad.

Obtuvo la ley de la fuerza centrípeta, y con ella, a partir de la tercera ley de Kepler, la ley gravitatoria del inverso del cuadrado de la distancia. Contrastó dichas leyes con las características conocidas del sistema Tierra-Luna y la conclusión fue convincente: la gravedad suministra la fuerza centrípeta necesaria para el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra.

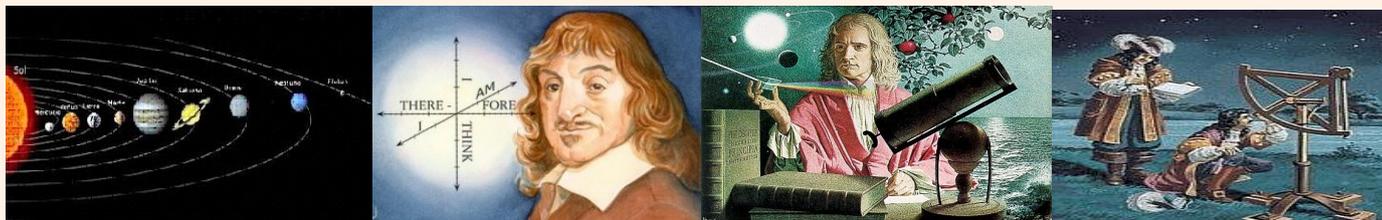


Newton ha pasado a la historia como “gigante, como figura cumbre. Su decisiva contribución personal a la teoría de la gravitación no debe conducir al olvido de los otros científicos que trabajaron en el mismo problema y que contribuyeron también, en diversa medida, a su resolución. Esta escuela inglesa realizó la conexión de la Dinámica Terrestre galileana con la Mecánica Celeste kepleriana, con lo que se logró la unificación de la Mecánica y la Astronomía.



Dibujo satírico de Newton.

Los resultados que obtuvo Newton en 1666 no los publicó y se han aventurado diversas conjeturas en diferentes momentos, todas relativas a que en esa fecha sus estudios no estaban coronados por el éxito que hubiera deseado él como

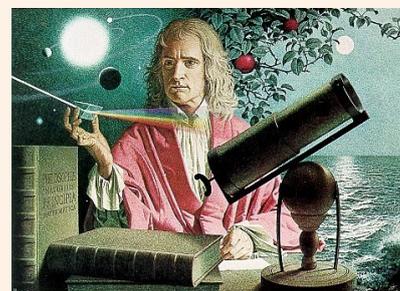


En 1679 Robert Hooke, Edmond Halley (1656-1742), Christopher Wren (1632-1723), y Christian Huygens ya conocen la ley de la fuerza centrípeta y la ley gravitatoria del inverso del cuadrado de la distancia. En distintos momentos escriben a Newton acerca del tema y en 1685 Newton logra demostrar que el campo gravitatorio creado por un cuerpo esférico en su exterior es idéntico al que crearía toda la masa si estuviera concentrada en el centro de la esfera. De esta forma, los cuerpos o los efectos gravitatorios entre ellos, pueden considerarse como puntos materiales (pesados). Además, las medidas astronómicas (radios de Tierra, Luna y Sol y distancias entre ellos) se conocen mejor que en 1666 y todo ello le permite a Newton demostrar: a) La fuerza de la gravedad es la fuerza centrípeta necesaria para mantener la Luna en su órbita alrededor de la Tierra. b) El campo gravitatorio solar produce las fuerzas centrípetas necesarias para que los planetas describan las órbitas según las leyes de Kepler. Y sugiere que:

- 1º. Las trayectorias de los cometas son parábolas alrededor del Sol.
- 2º. Los planetas están achatados por los polos y ensanchados por el ecuador (se constató en Júpiter por medio del telescopio y se aceptó en la Tierra como consecuencia de que la gravedad era menor en el ecuador que en los polos).
- 3º. Las mareas son consecuencia de las acciones gravitatorias de Luna y Sol.

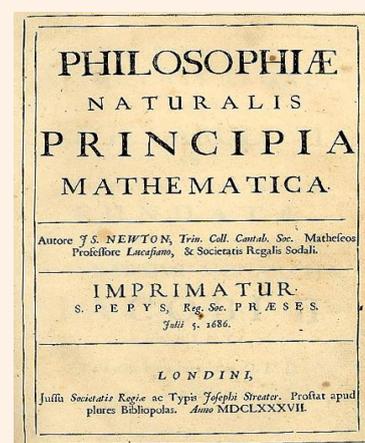
En 1687, Newton publica su obra "Principia matemática", gracias a que Halley corre con los gastos de edición, y puede considerarse que es la obra esencial de la historia de la ciencia moderna. Los Principia son el clásico libro de texto de mecánica, y con esta obra nace la física matemática, como nació con los Discursos galileanos la física experimental.

Como Euclides, en sus Elementos, Newton antepone a su obra definiciones y leyes axiomáticas; su método es esencialmente geométrico-deductivo y aunque sus leyes axiomáticas y definiciones previas estaban, ya en parte comprendidas en las investigaciones de Galileo y Huygens, es el gran inglés quien las formula rigurosamente y en forjar con ellas los cimientos de la mecánica. Ni Galileo ni Huygens supieron discernir cuáles eran las leyes y los conceptos primordiales que sirven para construir la mecánica, por tanto Newton supera a sus precursores con su maravilloso sentido para conocer los conceptos indispensables de la mecánica.

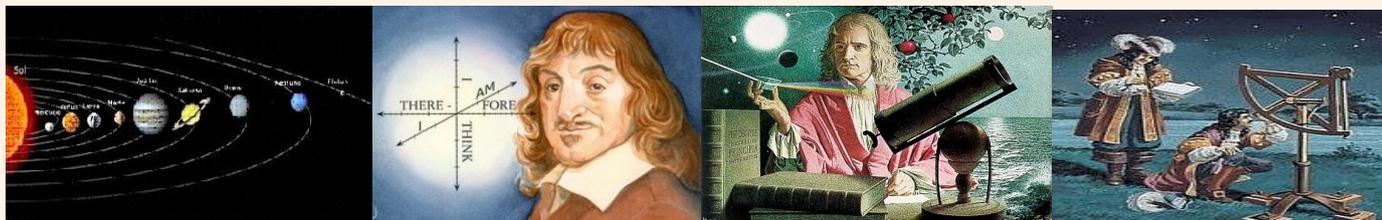


Newton terminó la construcción del majestuoso templo de la mecánica clásica; lo acabó en tal forma, que desde él hasta el umbral del siglo XX, ningún principio verdaderamente nuevo surgió, ocurriendo únicamente en este período el completo desarrollo formal y matemático de la doctrina newtoniana.

El "método" de Newton sigue la línea de Galileo: el origen del conocimiento son los efectos o datos observados de los que se obtienen leyes generales del movimiento, a partir de éstos se hacen deducciones físico-matemáticas que sirven, en caso positivo, para confirmar unos fenómenos y predecir otros.



Newton en sus Principia toma los ladrillos de los otros, pero es él quien levanta el palacio.



El comienzo del tratado son las definiciones, ocho en total, que Newton reescribió innumerables veces.

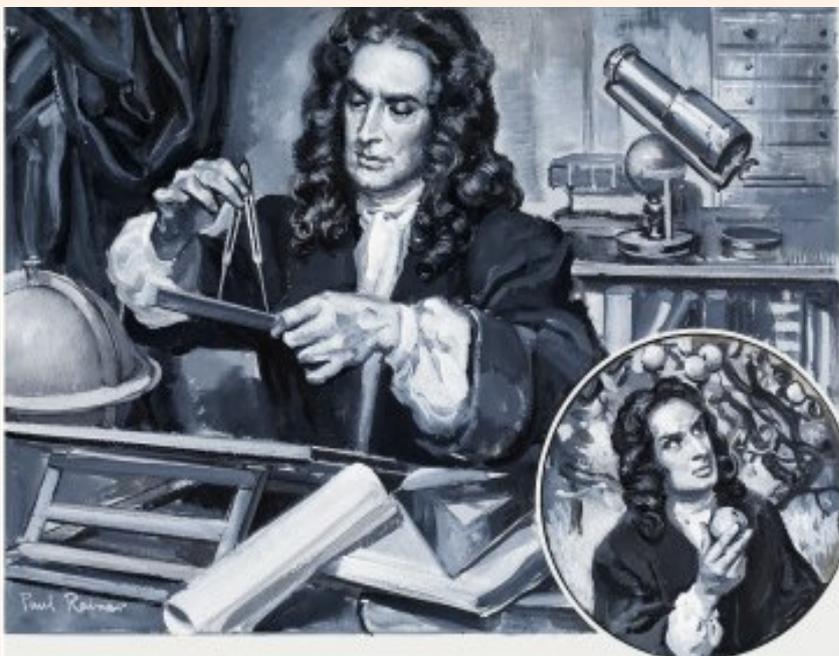
La primera contempla la cantidad de materia, "quantitas materiae", (la masa), como el producto de densidad y magnitud (volumen).

La segunda definición concierne a la "quantitas motus", como medida generada conjuntamente a partir de la velocidad y la masa.

La tercera se refiere a la "fuerza ínsita" o inercial de la materia, al tratar de mantenerse en su estado, ya sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, viendo claramente que Newton se inspira en esta definición en Descartes.

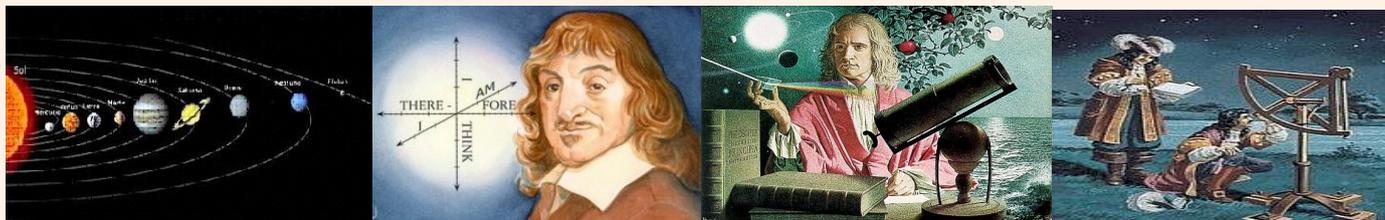
En la cuarta definición alude a la fuerza impresa como la acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado, bien sea de reposo o de movimiento uniforme en línea recta.

La fuerza impresa se distingue de la inercial en que no permanece en el cuerpo cuando la acción ha concluido, y cuyos orígenes son fenómenos como la percusión, la presión o la fuerza centrípeta.



El concepto de fuerza impresa es pregalileano y corresponde a la muy antigua física del ímpetu, si bien Newton lo extiende hasta cubrir acciones a distancia.

La vis centrípeta la plantea Newton en tres ejemplos: la gravedad terrestre, el magnetismo y aquella fuerza por la cual los planetas son continuamente apartados del movimiento rectilíneo.



Las cuatro últimas definiciones versan sobre la fuerza centrípeta recién surgida. La "vis centrípeta", concepto acuñado por Newton como tributo a la vis centrífuga de Huygens, queda definida en la quinta como aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impelidos o tienden de cualquier modo hacia un punto como hacia un centro. A continuación descompone la fuerza centrípeta en tres tipos: absoluta (proporcional a la eficacia de la causa que la propaga: sexta definición), acelerativa (proporcional a la velocidad generada: séptima definición) y motriz (proporcional al movimiento generado: octava definición).

Inmediatamente después aparece un largo escolio sobre los conceptos de tiempo, espacio, lugar y movimiento, que puede considerarse la parte más especulativa de la obra. Newton entiende que dichos conceptos no pueden ser objeto de definición, por ser bien conocidos de todos, si bien esas cantidades suele el vulgo concebirlas sólo a partir de su relación con lo sensible. Eso obliga al autor a una distinción general entre lo absoluto y lo relativo, aplicada a cada uno de los términos:

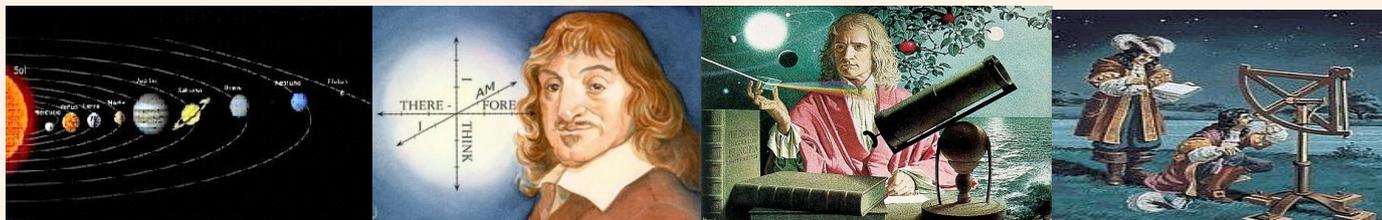
- El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí y por su naturaleza, fluye igualmente sin relación con nada externo, por el contrario, el relativo, aparente y vulgar, es una medida sensible y externa de la duración mediante el movimiento.
- El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación con nada externo, permanece siempre semejante e inmóvil. El espacio relativo es una medida o dimensión de los espacios absolutos.
- El lugar es la parte del espacio que el cuerpo ocupa y es absoluto o relativo en razón del espacio.
- El movimiento absoluto es la traslación de un cuerpo desde un lugar absoluto a otro, el relativo desde uno relativo a otro relativo.

A continuación vienen los Axiomas o leyes del movimiento, que son con mucho la parte más conocida de la obra. La Ley I establece que todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vea modificado su estado por la existencia de fuerzas impresas. De esta forma, el principio de inercia, intuido por Galileo y expuesto por Descartes, se convierte en la primera ley o axioma.



Postuló la existencia de unos referenciales de espacio y tiempo absolutos, determinados e inmóviles, que permiten conocer con absoluta precisión las posiciones, los instantes y el movimiento de los cuerpos.

Desde el éter cósmico en reposo se puede medir con precisión, en principio, las variables cinemáticas ya que tienen carácter absoluto. Esta concepción perdurará hasta comienzos del siglo XX.

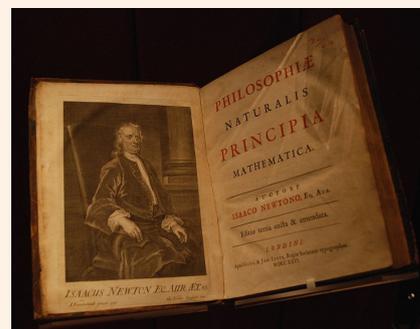


La Ley II, también de neto corte galileano, establece que el cambio de movimiento es proporcional a las fuerzas motrices impresas, y se hace según la línea recta en la cual se imprime dicha fuerza. La fuerza puede ser impresa completa e instantáneamente, o gradual y sucesivamente. Esta ley fue entrevista por Galileo y empleada por Huygens de forma implícita en sus deducciones.

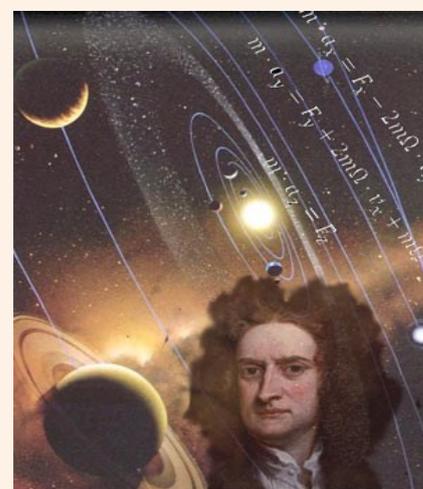
La Ley III culmina la axiomática, esta ley es de corte totalmente newtoniano, y establece que para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual, de forma que las acciones mutuas de dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas a partes contrarias. La superlativa importancia de esta ley en la construcción de los Principia deriva de que funda la dinámica gravitacional como sistema de atracciones recíprocas.

Después de varios corolarios y un escolio termina esta parte introductoria de los Principia para pasar al Libro Primero que denomina "El Movimiento de los Cuerpos" y en donde demuestra una serie de proposiciones a partir de los conceptos previos de la parte introductoria. El segundo libro denominado "El Movimiento de los Cuerpos en medios resistentes" continúa la labor emprendida en el primer libro, pero tiene un carácter más físico y menos matemático al extender sus investigaciones a los movimientos de los cuerpos en medios resistentes y así, entre muchos otros, la propagación de las ondas sonoras, planteando la primera fórmula para la velocidad del sonido, corregida por Laplace a principios del siglo XIX en su versión actual. En mecánica de fluidos explica la ascensión de un líquido por los tubos capilares e investiga la viscosidad (roce interno) de los líquidos.

Los dos primeros libros de los Principia forman un majestuoso prelude al tercero, que constituye el punto culminante de la mecánica newtoniana, su "Sistema del Mundo", donde se expone su ley de la gravitación universal. No obstante, hay que afirmar que entre el descubrimiento de la ley de la gravitación universal y su publicación en 1728 median muchos años, pues Newton cuando en 1686 dio por concluido el tercer y último libro de sus Principia, archivó entre sus papeles el manuscrito de su Sistema del Mundo, quizás porque su estilo, escrito en un lenguaje no especializado, quedaba desdibujado respecto al rigor y a la profundidad de los dos primeros libros de los Principia.



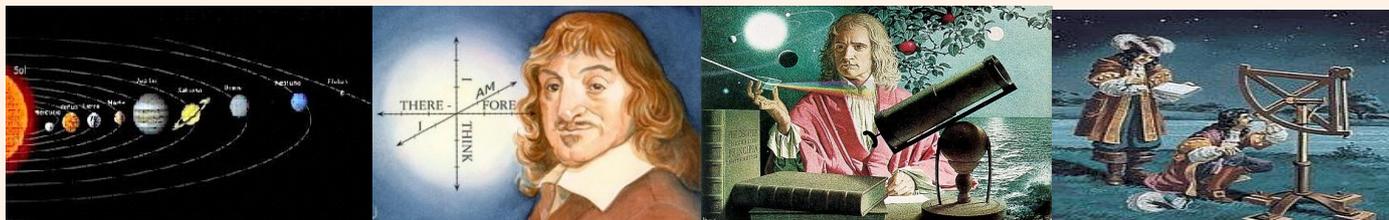
Principia de Newton.



Una imagen sobre Newton.



Newton comprobó que la fuerza de la gravedad es la misma que mantiene la Luna en órbita y la que provoca la caída de los cuerpos y la consideró que es de tipo general, con lo que unificó los problemas de la Astronomía con las de la Física de la Mecánica, pasando a ser realidades de una misma Ciencia: la Física.



El pequeño tratado que constituye el Sistema del Mundo, desvinculado formalmente de los Principia y a la vez tan unido a la gestación de esta obra capital, conoció por su carácter abierto una difusión considerable y contribuyó a popularizar, en mayor escala que los Principia, obra de difícil acceso por la complejidad de su lenguaje matemático, las teorías de Newton, en particular la teoría de la gravitación universal. Finalmente, El Sistema del Mundo, desde su publicación logró enterrar definitivamente el sistema tolemaico.

A modo de conclusión, se puede afirmar que Newton distingue claramente entre filosofía natural experimental y filosofía natural especulativa y concibe la gravitación como principio general del movimiento, pero explicita claramente que no ha descubierto la causa (metafísica) de ese principio. Las leyes de la dinámica newtoniana explican el modelo kepleriano del sistema solar de un modo matemático deductivo directo, pues permite calcular las orbitas de cualquier cuerpo alrededor del Sol, como, por ejemplo, los cometas.

Las ideas de Newton no se aceptan de inmediato. La teoría aristotélica sigue vigente en bastantes lugares y la cartesiana, que integró el índice de libros prohibidos, también tiene sus adeptos. Por ello, en el ámbito científico existen disputas, incluso “nacionalistas” entre las teorías cartesiana y newtoniana.

En la discusión con las opiniones cartesianas Newton ofrece un conjunto de ideas alternativas. De entre ellas parece oportuno destacar la hipótesis de la existencia del éter, medio “etéreo” estacionario sumamente sutil que llena el espacio como instrumento o vehículo de la acción gravitatoria.

La fricción de los cuerpos con el éter reducirá la cantidad de movimiento, y afirma que el Universo no es un mecanismo perfecto, autosuficiente y Dios debe actuar para restablecer las condiciones de regularidad. Con Newton, el método científico se enaltece y llega al cenit con la teoría de la gravitación. La Mecánica se convierte en el ejemplo a imitar, la Física es la ciencia por excelencia y el sistema de leyes newtoniano es considerado como la obra más portentosa de la capacidad humana. Es por ello, que el pensamiento del siglo XVIII se hace “mecanicista”.

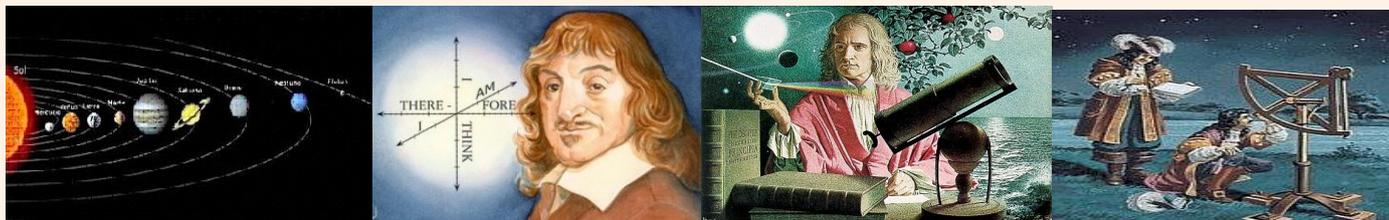
Newton fue respetado en vida como no había sido respetado ningún otro científico antes que él, quizás con la excepción de Arquímedes y Einstein, y a su muerte en Londres en 1727 fue enterrado en la Abadía de Westminster junto a los héroes de Inglaterra.

El pensamiento de Newton implica una cosmovisión que ofrece los siguientes rasgos:

- El espacio es infinito en extensión, tridimensional. Se describe según los postulados de la Geometría de Euclides y actúa como un receptáculo inerte de los cuerpos: Es imperecedero e inmutable.
- El tiempo es infinito (sin principio ni fin) y lineal (no circular, como defendía la concepción griega del retorno).
- El espacio y el tiempo son absolutos, es decir independientes de todo lo demás y entre sí (masa, cuerpos, movimientos y observadores).
- El movimiento de la materia está determinado por la fuerza de la gravedad, siendo ésta el gran patrón de la Mecánica Cósmica.



Panteón de Newton.



5.1. Hooke, el enemigo de Newton

Newton encontró en Robert Hooke (1635-1703) un gran enemigo. Hooke llegó a ser secretario de la Royal Society desde 1677 hasta 1683 y ocupó el puesto de supervisor de experimentos de la Sociedad desde 1662 hasta el fin de sus días y esto le dio un gran poder burocrático que nunca dudó en usar contra aquellos que consideraba sus enemigos como el frágil Newton, llegando, incluso, a provocarle el desequilibrio nervioso.

Hooke fue un hábil experimentador, así si el alemán Otto von Guericke (1602-1686) es el inventor de la bomba de vacío, Hooke introdujo mejoras para dar al importante instrumento la forma que aun hoy poseen muchos de los pequeños aparatos de vacío. Hooke fue un valioso colaborador de Boyle y gracias a la habilidad mecánica de Hooke tuvo éxito la bomba de vacío de Boyle.

Conviene hacer un paréntesis sobre el descubrimiento de Guericke; éste, con su máquina automática, comprobó interesantes fenómenos como la extinción del sonido en el vacío o la necesidad del aire para el mantenimiento de la llama. Los experimentos entre 1632 y 1641 que conducen a Guericke a la invención de su máquina neumática tuvieron una gran trascendencia al negar las ideas de los pensadores escolásticos que, apoyándose en Aristóteles, no creían en la existencia del vacío.

Volviendo a Hooke, éste estudiando la acción de los muelles logró enunciar su ley en 1678 y en el campo de la astronomía, en 1664 descubre que la trayectoria del cometa que apareció en ese año no es rectilínea sino que se curva en las proximidades del sol, según él debido a la atracción gravitatoria solar y, aunque bosqueja ideas semejantes a las de Newton, no llega a ninguna conclusión demostrable.

Reencontrándonos de nuevo con la ley de gravitación de Newton, es preciso destacar la importancia de la influencia de Kepler. Newton explica las leyes empíricas de Kepler por las características de la fuerza gravitacional. En efecto, en la primera ley de Kepler se sigue que la fuerza atractiva varía en razón inversa con el cuadrado de la distancia entre el sol y la tierra. La segunda ley de Kepler, la de las áreas, sugiere que la aceleración está dirigida hacia un foco de la trayectoria elíptica y la tercera ley permite admitir que la fuerza atractiva entre el sol y la tierra es proporcional a la masa del planeta, siendo la constante de proporcionalidad igual para todos los planetas. Al admitir, por último, que la atracción es proporcional también a la masa solar, todas estas conclusiones dan como síntesis su famosa fórmula.



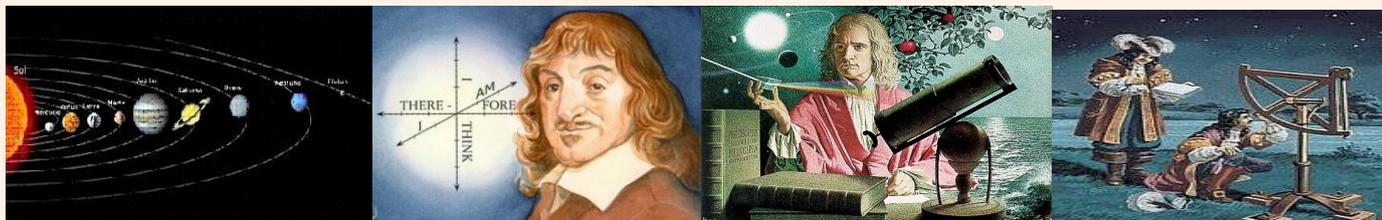
Otto von Guericke.

Visto de la perspectiva de hoy en día se puede afirmar que Kepler y Guericke fueron los dos más eminentes hombres de ciencia de la Alemania del siglo XVII.



Experimento con caballos para mostrar la existencia del vacío.

Guericke opinaba que Dios no precisaba de materia para actuar por lo que la idea del vacío no es irreconciliable con las leyes divinas.



El siguiente paso de Newton es demostrar que su ley es tanto válida para fenómenos celestes como para acontecimientos terrestres, al identificar la aceleración conferida a los objetos celestes por el cuerpo central (el Sol, por ejemplo) con la aceleración comunicada a los objetos terrestres por la acción gravitatoria. Pero la genialidad de Newton queda patente en su suprema generalización, al afirmar que la fuerza atractiva descrita por su fórmula actúa entre dos puntos masivos, cualesquiera que sean y dondequiera que estén en el espacio cósmico, y, desde entonces, una ley numérica se muestra valedera tanto para los acontecimientos terrestres como para los fenómenos celestes.

El universo adquiere con la ley de Newton una racionalidad autónoma, sin relación alguna con el orden espiritual, no siendo el propio Newton consciente de la profundidad filosófica de sus descubrimientos ni de su trascendencia religiosa, sin olvidar que Newton era un hombre profundamente religioso y los mecanicistas franceses del siglo XVIII, Lagrange y Laplace, hicieron de la ley newtoniana el eje de su imagen del mundo, concebido como una inmensa máquina cíclica, ajena a la intervención de la Providencia y realizadora de movimientos perfectamente determinados en cada punto del espacio y en cada instante del tiempo.

En 1685 Newton logró demostrar que el campo gravitatorio creado por un cuerpo esférico en su exterior es idéntico al que crearía toda la masa si estuviera concentrada en el centro de la esfera. Solo la posesión de este enunciado le permitió extender su ley, establecida para masas puntiformes e irreales, a masas con volúmenes determinados, en otras palabras, a los cuerpos reales del universo. Por otro lado, es éste el problema fundamental de la posteriormente denominada Teoría del Potencial, por lo que podría parecer a primera vista más complejo como las medidas de radios terrestres y otras medidas astronómicas sobre la luna y el sol eran una cuestión de menor importancia frente a lo anterior. Además, estas medidas astronómicas están a disposición de Newton en 1665, veintiún años antes de la publicación de los Principia y no hay que olvidar que es en su retiro forzoso del año de 1665 debido a la peste que azotó Inglaterra, cuando elaboró el núcleo central de su teoría de la gravitación y de otros de sus descubrimientos físicos y matemáticos. Para finalizar, hay que decir que el concepto central de la mecánica newtoniana es el de fuerza y entendida como una acción a distancia, de esta forma se pudo separar los conceptos de masa y peso con toda generalidad y claridad.

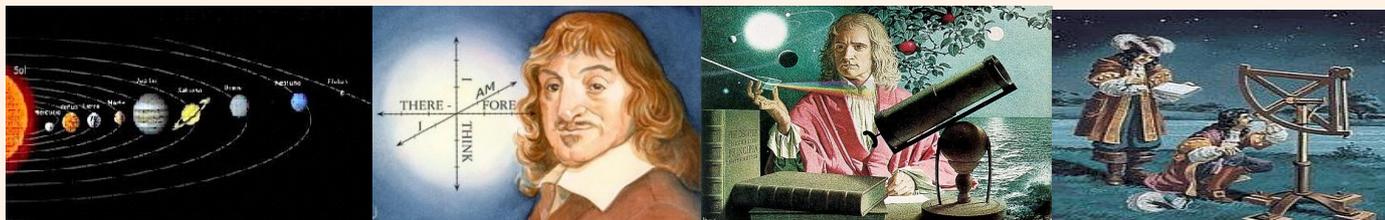


Robert Hooke.

Una razón de la tardanza de la publicación de la ley de la gravitación universal respecto a su descubrimiento se puede hallar en los enfrentamientos con Hooke y la aversión de Newton a exponerse a controversias públicas, pues difícilmente soportaba que se le contradijera, por ello se puede suponer que las dificultades que encontró Newton para solucionar ciertos problemas de cálculo integral, indispensables en la formulación definitiva de la ley, lo detuvieron en su camino.



Observaciones astronómicas.



5.2. Newton versus Leibniz

Conviene también recordar que la primera gran contribución de Newton al mundo de la ciencia fue su método de fluxiones de su cálculo infinitesimal, realizado antes de que el gran matemático alemán Gottfried Leibniz (1646-1716) creara el suyo.

La primera expresión del cálculo diferencial de Leibniz es de 1684 y de su cálculo integral de 1686, mientras que Newton empleaba su método de fluxiones desde 1665, pero hasta 1736, nueve años después de su muerte, no se publicó su método de fluxiones.

Newton vio en su método un arte individual, casi hasta secreto, que se abstiene de emplear en sus Principia para exponer los resultados obtenidos, pero logrados, sin embargo, con la ayuda de su procedimiento fluxional. Por tanto, queda claro el origen de la disputa sobre la paternidad del cálculo infinitesimal entre Leibniz y Newton.



Leibniz.

La manera de razonar de Newton estaba mucho más próxima de la fundamentación moderna que el cálculo de Leibniz, pero la eficacia de la notación diferencial y lo plausible de las ideas de Leibniz por su carácter generalizador y sistematizador provocaron una tendencia general a aceptar mejor la idea de diferencial que la de fluxión.

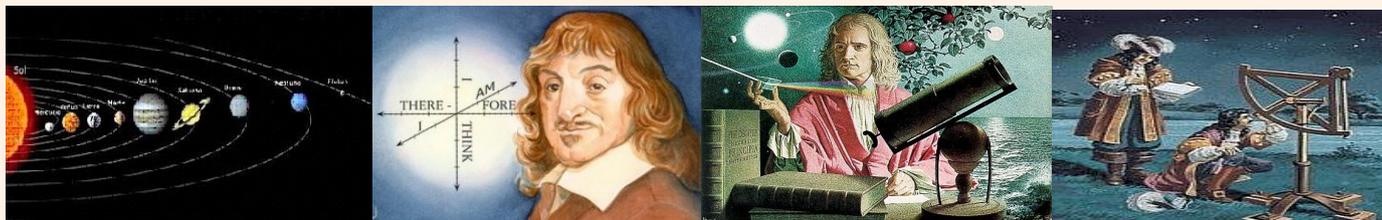
De todas formas, como muestra de la validez de los argumentos de Newton, hay que citar que mientras Leibniz se preguntaba todavía hacia 1680 si: $d(xy) = dx dy$, para acabar respondiendo negativamente, Newton sabía hace más de diez años antes que si: $z = x \cdot y$ y ello implica que $dz = y dx + x dy$



Leibniz mostrando su trabajo.

Pero no se molestó en decirlo nunca, al considerarlo un caso particular, indigno de mención, de su regla para diferenciar una relación entre fluyentes (llama fluyentes a las magnitudes que son estrictamente función del tiempo, y fluxiones a las velocidades de cambio de dichas magnitudes).

Debido a la autoridad moral que Newton ejerció sobre los matemáticos ingleses posteriores a él, éstos se obstinaron en seguir utilizando el simbolismo de Newton, aún a pesar de que el de Leibniz era mucho más operativo y eficaz, de este modo los matemáticos ingleses se apartaron



5.3. Newton y su tratado de Óptica

La otra gran obra de Newton es su tratado de "Óptica", publicado en 1704. En su primer libro del monumental tratado reúne sus experiencias sobre los colores y conducido por el pensamiento pitagórico, de una íntima relación entre los sonidos de la escala musical y los colores del espectro, Newton divide la gama espectral en siete colores, y aunque arbitraria, la división newtoniana se sigue manteniendo hoy en día.

Newton en su segundo libro de su tratado de óptica estudia el fenómeno de los hoy llamados anillos de Newton (anillos coloreados engendrados por minúsculas capas de aire o por delgadas láminas). A este fenómeno le da Newton en sus razonamientos una extraordinaria importancia. El hecho de considerar la luz como un flujo de proyectiles y de intentar explicar los anillos interferenciales por la insuficiente imagen corpuscular, nada quita al valor de las observaciones de Newton ni al de las ingeniosas mediciones que realizó para describir la ley que rige la formación de los anillos.

En su interpretación, Newton supone que la fuente luminosa emite partículas de luz de diferentes tamaños, después de haber vacilado entre las dos teorías opuestas, la granular o corpuscular y la ondulatoria. Pero ¿por qué Newton se inclinó por la teoría corpuscular? La propagación rectilínea que la hipótesis ondulatoria no parecía poder explicar no bastó para decidirse por la contraria. En realidad los motivos son más profundos. Saturado de la idea de su descubrimiento de la gravitación, tuvo la comprensible tendencia a interpretar los fenómenos magnéticos, eléctricos y sobre todo los luminosos con una imagen más o menos semejante a la gravitación. Esta posibilidad, prohibida por la teoría ondulatoria, le fue ofrecida por la hipótesis corpuscular, que permite el juego de la atracción entre las partículas de la luz y de la materia. En su tercer libro de su óptica explica la doble refracción del cristal de Islandia y la difracción de la luz.

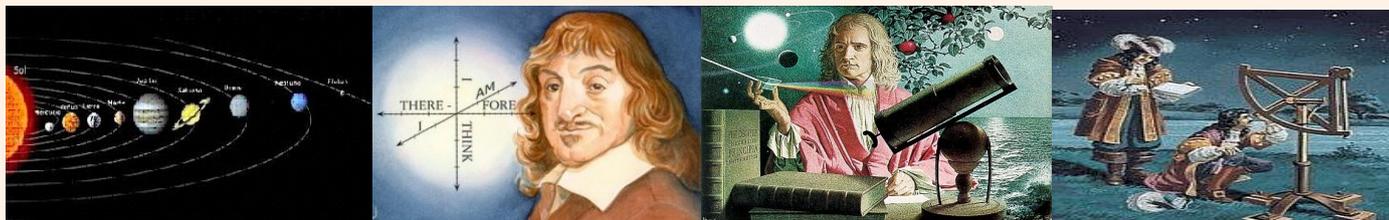
Para finalizar hay que indicar que la convicción corpuscular de Newton es flexible. Sólo sus discípulos le prestaron la rigidez de un dogma y lo mantendrán como sagrada herencia durante ciento cincuenta años. Se verá al newtoniano Biot defenderla a todo precio, en la segunda década del siglo XIX, cuando las experiencias de Fresnel habían ya demostrado la caducidad de la hipótesis.



Experimentos de Newton con la luz.



Royal Society de Londres.



5.4. Kant, después de Newton

El filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) completa el edificio referencial newtoniano en el campo del pensamiento científico-filosófico, que desde entonces se llama sistema newtoniano-kantiano, pues caracteriza, en 1781, los conceptos de espacio y tiempo en su "Crítica de la razón pura", con todo rigor.

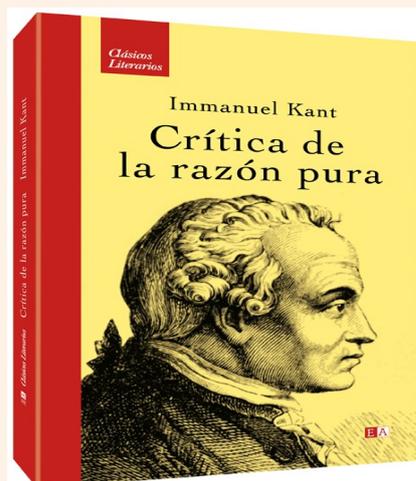
Kant fue el mayor filósofo de la edad moderna, su pensamiento es una síntesis de racionalismo y empirismo. Del primero toma la tesis de que la ciencia debe dar proposiciones de valor universal y necesario, y del segundo toma la tesis de que la ciencia debe interrogar a la experiencia sensible. Kant separa la ciencia de la metafísica con una gran clarividencia y afirma que tanto la física como las matemáticas son ciencias porque articulan sus conocimientos de acuerdo con un material de la experiencia que está determinado por la razón. Kant caracteriza los conceptos de espacio y tiempo, que Newton había dejado sin precisar. Kant indica que los conceptos de espacio y tiempo son dos intuiciones sensibles y no conceptos de la mente, además, son conceptos a priori y no adquiridos a posteriori por la experiencia.

Según Kant el espacio y el tiempo no son en modo alguno una propiedad de las cosas en sí, y, por tanto, no son algo real. Para Kant, el espacio no es más que la condición subjetiva de la experiencia humana, y por lo que respecta al tiempo la cuestión sigue un camino paralelo, quedando todo ello queda expuesto con exquisito rigor en la primera parte de su gran obra la "Crítica de la Razón Pura", publicada en 1781, y que puede ser considerada como el mejor texto filosófico de la época, de esta forma con el sistema newtoniano kantiano el método científico quedó enaltecido y llegó a su cenit que únicamente entrará en crisis con la teoría de la relatividad de Einstein en el siglo XX.

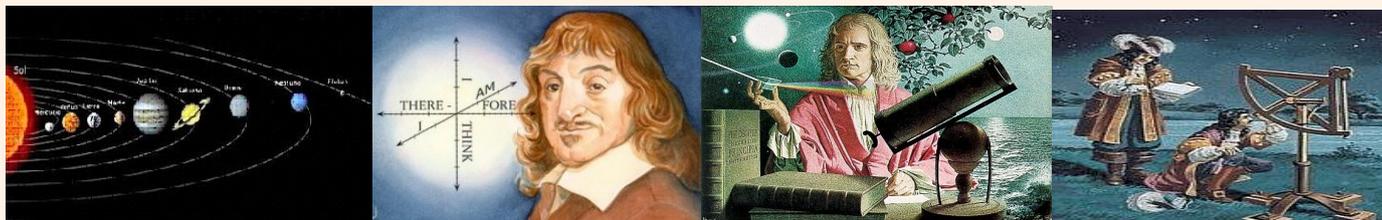
Para Kant el espacio y el tiempo son formas a priori de la sensibilidad, independientes de toda experiencia particular. Son formas, pues no son impresiones sensibles particulares, como colores o sonidos, sino el modo de cómo se perciben dichas impresiones: los colores o los sonidos son percibidos en el espacio y en el tiempo. Y son a priori, pues su conocimiento y su validez son independientes de la experiencia, pues el espacio y el tiempo no proceden de la experiencia, sino que la preceden como



Para Kant, la Geometría se ocupa de determinar las propiedades del espacio, y relaciona la Aritmética con el tiempo, pues ésta se ocupa de las series numéricas y éstas, a su vez, se basan en la sucesión temporal (el 2 antes que el 3). El tiempo es el fundamento último de la Aritmética.

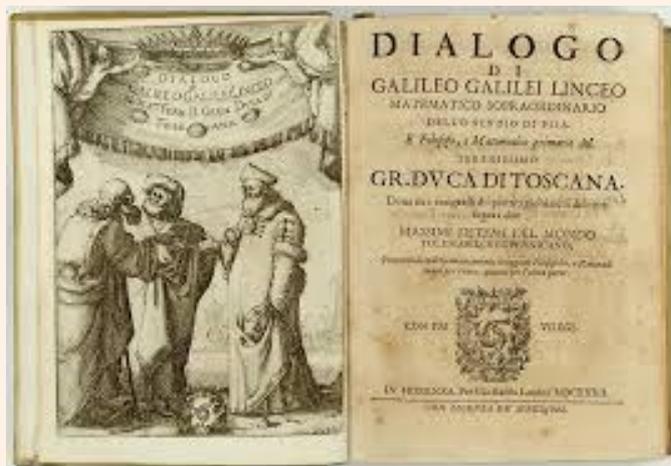


Sólo el sistema newtoniano-kantiano entra en crisis con la aparición de la Teoría de la Relatividad de Einstein.



6. Actividades

1. Explica el argumento del “Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo”, de Galileo.
2. Explica las diferencias fundamentales entre los trabajos de Galileo y Kepler.
3. ¿Qué son las tablas rodolfinas?
4. El siguiente texto es de la entrevista al cardenal Poupard, la persona encargada del estudio del caso de Galileo, y cuyo resultado sirvió al Papa Juan Pablo II para su pronunciamiento:



La ciencia como la fe son dos elementos fundamentales de la cultura que pueden ser caracterizados por su relación a la verdad. En la actualidad, junto con una tendencia a fragmentación y a la disgregación cultural que amenaza con acarrear graves consecuencias para el futuro de la persona, se constata un deseo cada vez mayor de que el cuerpo imponente de los conocimientos científicos encuentre su razón de ser en el marco de una visión más amplia, que abarque una visión integral de la persona y de sus relaciones con Dios y con el conjunto del Universo. El servicio a la verdad propio de la ciencia es plenamente compatible con el servicio a la Verdad (en mayúscula y propio de la religión).

La ciencia ha servido para purificar a la religión de múltiples errores y supersticiones, mientras que la religión, a su vez, tiene la virtualidad de purificar a la ciencia de la idolatría de las ideologías materialistas y reduccionistas que acaban por volverse contra la dignidad de la persona.

- a) ¿Qué diferencia hay sobre lo que entienden por verdad la religión y la ciencia?
 - b) ¿Cuáles son las bases para un diálogo entre la ciencia y la fe religiosa?
 - c) En relación con el caso de Galileo, da una explicación del texto leído.
5. ¿Pudo influir en la relación entre Galileo y Kepler el que uno estuviera en la zona católica y el otro en la zona protestante?
 6. ¿Existe un único método científico?
 7. ¿Por qué los experimentos de Guericke que conducen a la invención de su máquina neumática tuvieron tanta trascendencia?
 8. Explica qué aporta Newton en la construcción de la Ciencia Moderna con respecto a los trabajos previos de Galileo y Kepler.
 9. Explica la influencia que tuvo Brahe sobre Kepler.
 10. ¿Por qué fue condenado Galileo por la Inquisición?



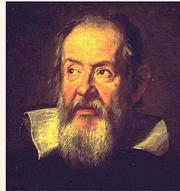


11. ¿Qué quiere decir que la Ciencia en el siglo XVII se hizo mecanicista?
12. ¿Quien fue más importante Galileo o Kepler?
13. Pon el nombre que corresponde en el pie del retrato de cada personaje y ordénalos de más a

nos
antigo:



me-
anti-



14. ¿Ayudó Hooke a Newton en sus trabajos sobre la gravitación universal?
15. ¿De quienes son las principales obras sobre las que se edifica la Revolución Científica?
16. ¿Qué aporta Kant con respecto a Newton en la consolidación de la Ciencia Moderna?

17. Explica por qué para Kant el espacio y el tiempo son formas a priori de la sensibilidad, independientes de toda experiencia particular.

18. Explica la siguiente frase de Kant mostrada a continuación..



19. ¿Qué quiere decir la frase el edificio newtoniano-kantiano?

20. inició en geología



¿Por la ciencias o la tecnología?



¿Por qué no se crearon ciencias modernas como la física o la química?



¿Por qué no se crearon ciencias modernas como la física o la química?

21.