

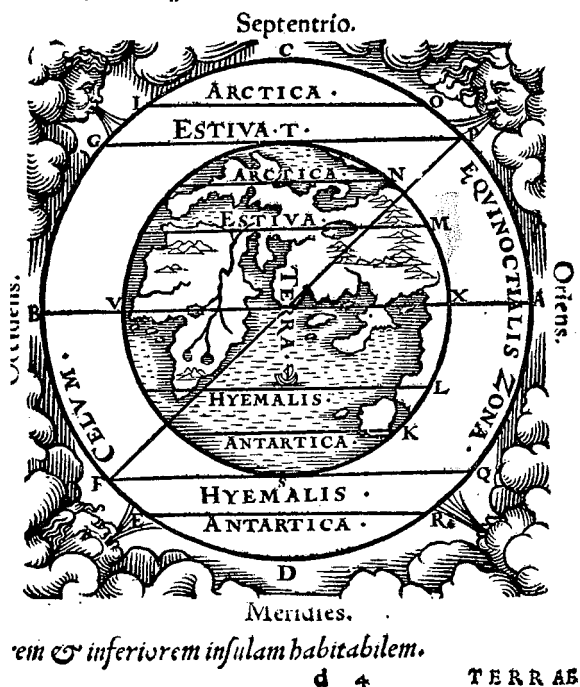
Tema 3.2. Astronomía y filosofía en la génesis de la ciencia y técnica modernas.

Las bases filosóficas de la ciencia actual

Durante los duros siglos en que cayó el imperio romano de occidente el conocimiento en la Europa occidental se refugió y promovió en los monasterios que seguían la regla de san Benito. El conocimiento llegó a revitalizarse de la mano de sabios como San Isidoro (560-636), obispo de Sevilla que en sus [Etimologías](#) dedica el libro XIII al mundo y en su punto VI describe los círculos polares ártico y antártico y los trópicos. Esto se muestra también en una miniatura en los escritos de San Beda el Venerable (673-735).

si sustinente terra, mutuo amplexu iungerentur, hac finem intra, extra, supra, infra, uenit ut uinculis discurrerentur.

ario inuenimus, quæ quoniam cruditæ sunt, et ab eruditissimis, non existimabam esse omittenda.



1 De Rerum natura de San Beda el Venerable

Ya en el siglo X se estudiaban el trivium (gramática, lógica y retórica) y el cuadrivium (Aritmética, Geometría, Astronomía y Música) en monasterios y catedrales. El papa Silvestre II (940-1003) por ejemplo había estudiado el trivium en el monasterio benedictino de Auvernia y astronomía como parte del cuadrivium con el obispo Atón en Vic. Fue justamente el papa Silvestre II quien escribió el *Liber de utilitatibus astrolabii* para divulgar el uso del astrolabio. También hizo un intento de adoptar la numeración arábiga pero que no fue aceptado. Estas innovaciones entre otras fueron motivo de que sus enemigos dijeran que el diablo se lo llevaría y que el mismo papa había ordenado que después de su muerte su cuerpo fuera troceado para evitar esto. Esta difamación quedó demostrada que era falsa cuando en 1648 se abrió la tumba de Silvestre II y pudo comprobarse que estaba su cuerpo entero con su mitra puesta y los brazos cruzados sobre el pecho.



El cristianismo añadió unos ingredientes esenciales para el desarrollo de la ciencia que conocemos: Para los cristianos (y hebreos) Dios ha creado el mundo y le ha dotado de unas leyes y regularidad que Él sostiene o de las cuales es garante. Estas leyes por tanto pueden ser conocidas o ensayadas. Para los griegos los dioses caprichosos actúan según sus apetencias –en general nada buenas- confundiendo a los humanos. Esta distinción es importante porque los paganos reverenciaban cualquier cosa como divinidad: una fuente, un árbol o el fuego. Incluso las mismas personas estaban sometidas a su hado o destino y hagan lo que hagan acabará cumpliéndose el mismo. Judíos y cristianos, por el contrario, consideran las cosas creadas por Dios y por tanto sujetas a leyes y dignas de ser estudiadas y no reverenciadas. Además, para judíos y cristianos las personas son dueñas de sus actos y sus pensamientos: son libres, en particular libres para estudiar la creación y para someterla.

Para los cristianos Dios ha creado el mundo, incluyendo el tiempo, como bien apunta san Agustín de Hipona (354-430) (¡qué inteligencia e intuición 15 siglos antes de la relatividad general de Einstein!). Para los griegos sin embargo todo era un proceso cíclico, repetitivo y necesario. Para los cristianos Dios ha creado el mundo por su voluntad y a su imagen. Por tanto sus leyes serán comprensibles para los hombres que también están hechos “a su imagen y semejanza”.

Pero, además, la tradición judeo-cristiana entiende que Dios ha creado el mundo de esta forma pero podría haberlo hecho de otra cualquiera. Esto es radicalmente diferente del planteamiento griego. Los griegos pensaban que las leyes del universo podían deducirse de otras superiores. Digamos que la física sería una consecuencia de las matemáticas y por tanto el propio universo no sería más que una consecuencia necesaria de la lógica y la estética. Esto supuso que un autor como Aristóteles no casaba bien con la visión cristiana. Tuvo que atemperar esas ideas el gran Santo Tomás de Aquino para que el sistema aristotélico –y con él ptolemaico- casara con el cristianismo ya en el siglo XIII, justamente cuando se fundan las primeras universidades.

Ya en el siglo XIII se compilan las tablas alfonsíes que recogen las posiciones de los Astros desde el 1 de enero de 1252 –año de la coronación de Alfonso X el sabio-. Estas tablas recogen observaciones del cordobés del siglo XI al-Zarkali y son confeccionadas por los astrónomos toledanos Yehudá ben Moshe e Isaac ben Sid. No sólo recogen los datos sino que además los interpretan en términos del modelo

Ptolemaico con las correcciones de epiciclos de Apolonio y los llamados *deferentes*. Estas observaciones fueron empleadas durante tres siglos.

En el siglo XIII ya sí se extendió el uso de la numeración arábiga que permitió de nuevo la realización de cálculos precisos. Simultáneamente los conocimientos geométricos y la construcción de instrumentos para la medida de magnitudes geométricas se perfeccionó como demuestra la construcción de catedrales góticas. De hecho la cantería o arte de cortar la piedra fue el fundamento de lo que posteriormente se denominó geometría descriptiva.

El cardenal Nicolás de Cusa (ca. 1400-1464), obispo de Brixen, dedujo basándose en la observación de los eclipses que la Tierra era menor que el Sol y mayor que la Luna, que la Tierra y los demás cuerpos celestes giraban en torno del Sol y que todos ellos estaban en movimiento que difería entre ellos. Además propuso el giro de la Tierra en torno de su eje. Esto chocaba con la concepción aristotélica del espacio y contradecían el modelo Ptolemaico. Fue así un precursor de Copérnico e influyó en Kepler, da Vinci y Bruno. Además en su obra “De docta Ignorantia” postuló un espacio infinito por lo que Descartes lo citará como argumento ad autoritas.



Nicolás de Cusa critica y supera la filosofía natural escolástica por considerarla meramente especulativa. Nicolás de Cusa propone recurrir a la autoridad de las mediciones y propugna así la experimentalidad de las ciencias naturales. De hecho él mismo mejoró aparatos de medida como relojes y balanzas e inventó otros como el batómetro para medir profundidades de ríos o lagos.

El calendario Gregoriano

En el año 46 a.C. Julio César había establecido el calendario Juliano solar, con doce meses como conocemos con años bisiestos cada cuatro años. Esto es el año Juliano duraba 365,25 días.

En el concilio de Trento (1545-1563) se acordó la revisión del calendario por el desfase que se detectó respecto del primer concilio de Nicea (325). En este año el equinoccio se midió el 21 de marzo mientras que en 1582 llegó a suceder el 11 de marzo.



En 1579 una comisión de astrónomos comenzó a trabajar en la determinación exacta del año solar. En concreto participaron el Jesuita alemán Cristóbal Clavio ó Christopher Clavius que fue un gran matemático, astrónomo y experto en gnomónica (ciencia que estudia la trayectoria del Sol y su relación con las sombras que proyectan) y los salmantinos Luis Lilio –médico y astrónomo- y Pedro Chacón –matemático-. Cristóbal Clavio fue el primero que empleó el punto decimal y los paréntesis en las operaciones algebraicas y el cráter más grande de la Luna lleva su nombre. Esta comisión, empleando las tablas alfonsíes determinó que el año duraba 365,2425 días.

El papa Gregorio XIII decretó el 14 de septiembre de 1580 una bula por la que se establece el ajuste para 1582: después del jueves 4 de octubre de 1582 –justamente ese día falleció Santa Teresa de Jesús- siguió el viernes 15 de octubre de 1582 –por lo que la festividad de Santa Teresa resulta ser el día 15 de octubre-. Además los años que acaban en 00 no son bisiestos salvo que sean múltiplos de 1000 (recuérdese el año 2000...)



[Cristóbal Clavio](#) (1538-1612)

La adopción del calendario Gregoriano fue muy diversa: Felipe II, que en ese momento era rey de España, Portugal, los países bajos, Franco Condado, Milanesado y Nápoles y Sicilia, decretó su adopción en 1582, excepto para los territorios alejados como el virreinato del Perú, en que por motivos prácticos se retrasaba a 1583.

En octubre de 1582 lo adoptaron también los Estados Pontificios, otros territorios italianos y la unión polaco-lituana. Francia también lo adoptó en 1582 pero se retrasó a diciembre.

Entre 1583 y 1584 se realizó el cambio en otros países católicos como Austria, Bohemia, cantones católicos de Suiza, Silesia y Baviera.

Los países protestantes mostraron reticencias al cambio. Bastaba que fuera el Papa quien promulgara el cambio para que no quisieran obedecerle. Pero el peso de la evidencia del retraso del calendario Juliano y la mayor exactitud del Gregoriano hicieron que poco a poco fueran haciendo la transformación. En 1700 se adoptó en la Alemania protestante, Dinamarca, Noruega y Holanda y en 1752 por Inglaterra y sus colonias. Nótese que el 23 de abril de 1616 murió Cervantes (con el calendario Gregoriano actual vigente en España) mientras que diez días después murió Shakespeare coincidiendo con el 23 de abril juliano que todavía se empleaba en Inglaterra. En Inglaterra, para mayor confusión de los historiadores se cambió también la forma de comenzar a contar el año: de empezar el 25 de marzo (día de la Anunciación) a empezar el 1 de enero.

El caso de Suecia fue más accidentado: decidieron suprimir los años bisiestos durante 40 años a partir del 1700 para ponerse al día –aunque ya entonces el retraso del Juliano con el Gregoriano era de 12 días- en lugar de suprimir ningún día. Pero llegó 1704 y lo hicieron bisiesto y lo mismo con 1708. Ante semejante fracaso volvieron al calendario Juliano en 1712 añadiendo un día más a Febrero (30 de febrero de 1712 – sólo para suecos). Finalmente se rindieron a la evidencia y en 1753 hicieron el cambio drástico como los demás lo habían hecho.

Otros países han cambiado más recientemente: Turquía en 1914, China definitivamente en 1912 ó 1929, Bulgaria en 1916, Rusia en 1918 –por eso la “revolución de Octubre” sucedió en nuestro Noviembre Gregoriano-, Rumanía en 1919 y Grecia en 1923.

En algunos casos los cambios supusieron revueltas y desordenes. En algunos estados norteamericanos llegó a haber manifestaciones en que la gente reclamaba los doce días que les habían quitado...

Como se vé la importancia de las compilaciones de Alfonso X el sabio, las aportaciones de los sabios de la Universidad de Salamanca y de la compañía de Jesús y la determinación del papa Gregorio XIII y de Felipe II fueron determinantes en el establecimiento del calendario “Gregoriano” que actualmente empleamos.

La exactitud del calendario Gregoriano es asombrosa teniendo en cuenta que los datos que emplea son tomados sin telescopios ni ningún instrumento óptico de aumento. Sólo necesita la corrección de un día cada 3300 años y esta se realiza en la actualidad añadiendo un segundo al último minuto del 31 de diciembre en determinados años –

como este de 2008-. Indudablemente es un gran invento con el que estamos acostumbrados a manejarnos pero que no era nada fácil de determinar con la exactitud requerida.

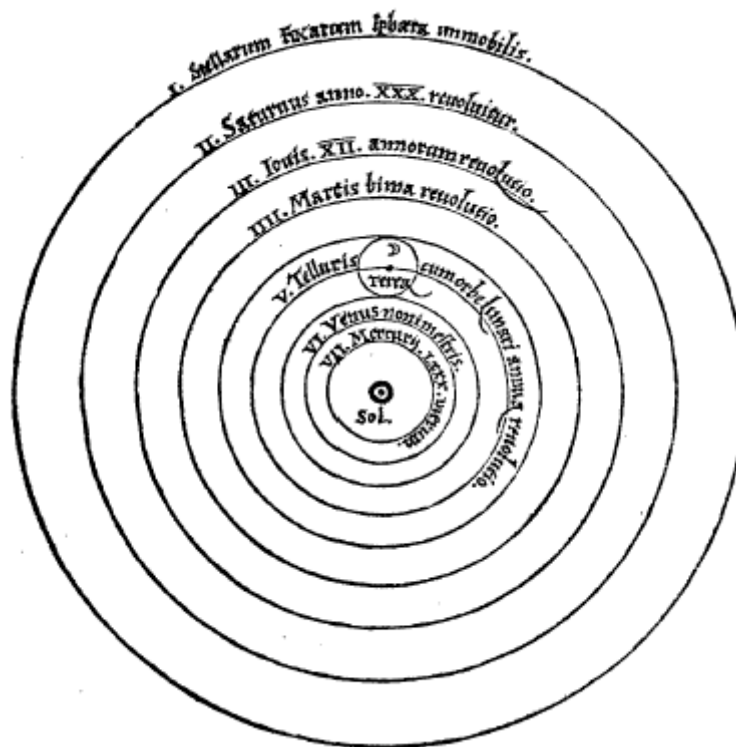
Copérnico y Brahe.

Un canónigo polaco, Nicolás Copérnico escribió entre 1506 y 1531 (publicándose en 1534) la obra “*De Revolutionibus Orbium Celestium*”, dedicada al papa Pablo III en el que establece su teoría matemática heliocéntrica.

Los modelos ptolemaicos necesitaban recurrir a artificios como “epiciclos” para poder explicar el movimiento de los planetas que en determinados momentos parecían retroceder en su camino. Las observaciones existentes hasta entonces no tenían suficiente precisión como para poderse decantar por uno u otro modelo y seguía necesitando soluciones “ad hoc” para poder explicar el movimiento de los astros.



Propuso órbitas circulares de los planetas y el sol cerca de su centro –pero ligeramente desplazado-. La elección conceptual es que las órbitas de los planetas fueran más sencillas que en el modelo geocéntrico o ptolemaico. Prefirió una descripción más sencilla del movimiento de los planetas aún a costa de explicar peor el movimiento de los demás astros. Esta fue su gran contribución que las observaciones posteriores han demostrado acertada.



Poco después, el danés Tycho Brahe (1546-1601) propuso un modelo alternativo basado en sus observaciones realizadas aún a simple vista pero que corrigieron errores de observación que parece había recibido Copérnico. Brahe empleó sextantes de hasta 2 m de altura que necesitaban varias personas para manejarlos.

Él puso de nuevo a la Tierra en el centro en torno del cual giran la Luna, el Sol y las estrellas lejanas, mientras que los planetas girarían en órbitas circulares en torno del Sol. Mediante este sistema se explican con mayor precisión los movimientos de todos los astros sin necesidad de correcciones ni epíclides, etc.



Justamente entonces sucedió que apareció una nueva estrella (Nova) en 1572 y Brahe observó cometas identificándolos como fenómenos astronómicos y no atmosféricos, con lo que se desmoronaba la tesis aristotélica de que los cielos eran inmutables.



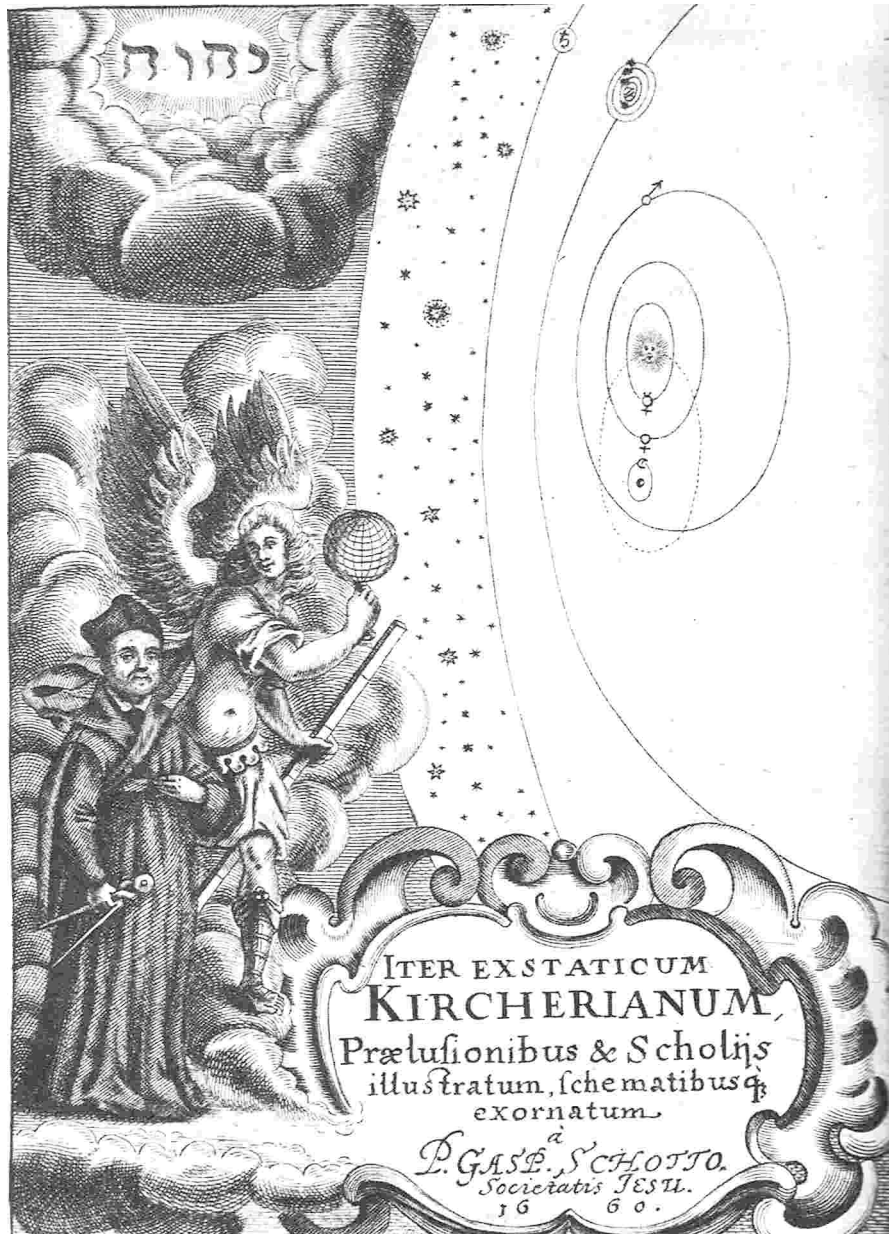
2 Dibujo de la Nova observada por Brahe en 1572.



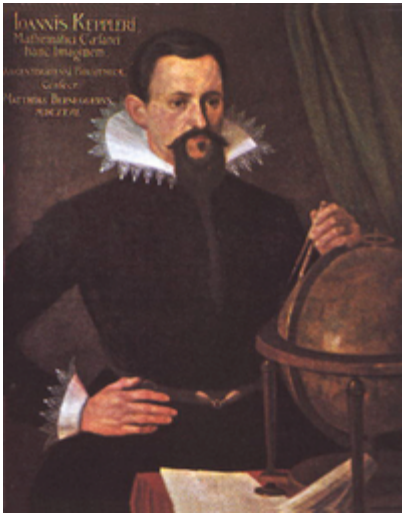
3 Portada del Almagestum novum por Juan Bautista Riccioli (1651)

El modelo de Tycho Brahe tuvo más éxito en el siglo XVII que el modelo de Copérnico puesto que era más preciso. Podemos comprobarlo por ejemplo en las portadas del Almagestum Novum de Juan Bautista Riccioli (1651) en el que Urania, la musa de la astronomía, sostiene una balanza con el modelo de Copérnico a la izquierda y el de Brahe a la derecha, inclinándose la balanza por el mayor peso de éste último. Nótese que el modelo Ptolemaico yace en el suelo, a los pies de Urania, completamente descartado mientras que el propio Ptolomeo caído en el suelo reconoce su error. Es interesante cómo en la parte superior aparece la mano de Dios de tres de cuyos dedos aparecen “Números”, “Medida” y “Peso”.

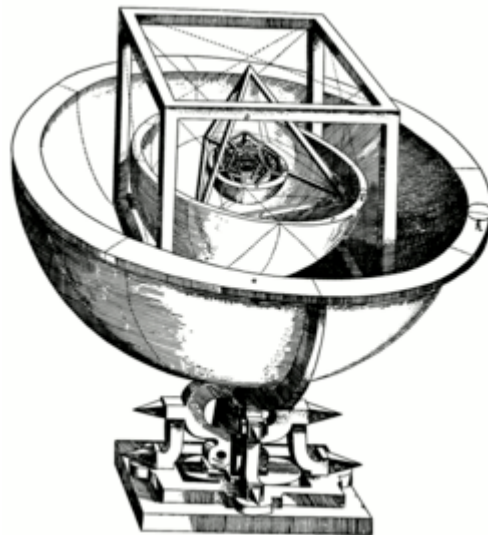
De igual forma en el libro del jesuita Atanasio Kircher de 1660 describe el sistema de Brahe. Kircher –discípulo de Cristóbal Clavio- era profesor en el colegio de Roma de la Compañía de Jesús. En la ilustración se puede ver la Luna y el Sol girando en torno de la Tierra y todos los demás planetas girando en torno del sol que no ocupa el centro de las órbitas. Nótese que en torno a Júpiter hay girando 4 lunas.



Las leyes de Kepler



Johannes Kepler (1571-1630) ingresa en 1589 en la universidad de Tübinga donde el astrónomo Michael Maestlin le introduce en el modelo Copernicano. Después de un periodo en la escuela protestante de Graz donde publica además de almanaques con predicciones astrológicas su libro *Mysterium Cosmographicum*. En 1600 se traslada a Praga invitado por Tycho Brahe con quien colabora aunque mantiene con en una compleja relación de desconfianza mutua. En 1602 muere Brahe y Kepler lo sustituye como matemático imperial de [Rodolfo II](#) (nieto de Carlos I y sobrino de Felipe II).



Modelo platónico del Sistema Solar presentado por Kepler en su obra *Mysterium Cosmographicum* (1596).

Es entonces cuando a través de la familia de Brahe logra estudiar las detalladas observaciones de Brahe. Kepler se centró en estudiar la órbita de Marte –que justamente es muy elíptica- y comprobó que no podía describir correctamente con órbitas circulares el movimiento de los planetas. Intentó entonces óvalos que tampoco le sirvieron, para finalmente emplear lo que consideraba “estiercol”: las elipses de Apolonio.

Seguramente la observación de una Nova el día 9 de octubre de 1604 por Clavio en Roma, Brunowski en Praga, Altobelli en Verona y Mario en Pauda de la que tuvo noticia por el segundo de ellos y de la cual escribió un tratado “*De Stella nova in pede Serpentarii*” pudo influir en abandonar la concepción platónica de perfección de los cielos.

Publicó sus famosas “tres leyes” en su libro *Astronomia nova* en 1609:

1. Los planetas tienen movimientos elípticos alrededor del Sol, estando éste situado en uno de los focos de la elipse.
2. Los planetas, en su recorrido por la elipse, barren áreas iguales en el mismo tiempo.
3. El cuadrado de los períodos de los planetas es proporcional al cubo de la distancia media al Sol. (Ley armónica).

En 1615 su madre es acusada de brujería en el ducado protestante alemán de Wurtemberg sufriendo varios procesos y estando encarcelada hasta 1621. Esto hace que Kepler tenga que escribir alegatos y viajar varias veces para defenderla y ayudarla. En 1627 publica las *Tablas Rudolfinas* en las que predijo correctamente el tránsito de Venus en 1631 que confirmó su teoría. Kepler muere en 1630 en Ratisbona (Baviera) justo unos meses antes de poderla ver confirmada.



4 Tabulae Rudolphine (1627)

La madurez de la mecánica

En el siglo XIII Gerardo de Bruxelas escribió *De motu* introduciendo el concepto de velocidad. En la universidad de Oxford Thomas de Bradwardine (1295-1349) y otros matemáticos dirigieron su atención al tratamiento matemático del movimiento, la velocidad y aceleración, aunque aún sin ninguna conexión con el mundo físico. Empezaron a emplear un álgebra de palabras en “De proportionibus”. Entre 1330 y 1340 un grupo llamado los *Calculatores* en el Merton College (William Heytesbury, Richard Swineshead y John de Dumbleton) estudiaron tanto el movimiento uniforme como el uniformemente acelerado o “uniformiter disformis”. Establecieron el llamado [teorema del Merton College](#) (o de la velocidad media).

En la Universidad de París, Nicolás de Oresme (1325-1382), que posteriormente sería obispo de Lisieux empezó a emplear coordenadas y realizó una demostración geométrica del teorema de la velocidad media o del Merton College.

Domingo de Soto (1494-1570), ilustre profesor de la Universidad de Salamanca y confesor de Carlos I quien lo envió como teólogo imperial al concilio de Trento, describió el movimiento uniformemente acelerado en la caída de los graves e introdujo el concepto de inercia (resistencia interna) en su libro *Quaestiones*. Es el primero que describe el movimiento físico de los cuerpos con los artificios matemáticos.

Casi contemporáneo de Kepler [Galileo Galilei \(1564-1642\)](#) fue el primero en dirigir un telescopio a la Luna y los planetas, descubriendo cuatro lunas de Júpiter, los anillos de Saturno, distinguiendo estrellas múltiples y proponiendo que las manchas solares eran efectivamente manchas sobre la superficie del Sol. Formuló además el principio de la inercia. Tenía una personalidad muy fuerte (al modo de Einstein) de la cual basta como ejemplo que su primera obra es un panfleto contra sus profesores. A pesar de que en otras cuestiones como los cometas o las mareas era partidario de tesis erróneas e incluso contradictorias con sus propias teorías se le considera uno de los padres de la ciencia experimental moderna y la Unión Astronómica Internacional ha decidido que 2009 sea el año internacional de la astronomía coincidiendo con el cuarto centenario de las primeras observaciones con telescopio realizadas por Galileo.



Retrato de Galileo por Octavio Leoni.

El broche final para llegar al pleno desarrollo de las leyes de la mecánica lo dio [Isaac Newton \(1643-1727\)](#) con sus célebres Principia Mathematica propone sus leyes de la mecánica y explica las órbitas elípticas propuestas por Kepler mediante la ley de la gravitación universal. Newton rompe definitivamente con la tesis aristotélica de la quintaesencia de los cielos: los astros se mueven siguiendo las mismas leyes que los objetos que observamos en la Tierra. Esta hipótesis es fundamental para nuestro entendimiento del universo: *las leyes de la física son las mismas independientemente del lugar del universo en que estemos*. Debemos darnos cuenta de que esto no deja de ser una hipótesis (razonable) pero que no es demostrable.

