

BLOQUE II CONOCIMIENTO

Las grandes cosmovisiones científicas

1. Concepto de cosmovisión científica.

2. El paradigma de la ciencia antigua.

3. El paradigma de la revolución científica.

4. El paradigma de la física clásica.

5. El paradigma actual de la física relativista.

1. CONCEPTO DE COSMOVISIÓN CIENTÍFICA

En la anterior Unidad ya hemos adelantado la noción de cosmovisión científica: es un conjunto integrado (coherente e interdisciplinar) de los paradigmas de las ciencias naturales, predominantes a la largo de una determinada época histórica. En esta Unidad Incluimos sólo a los paradigmas de las ciencias naturales puesto que el término “cosmos” designa originariamente el orden interno que rige a la naturaleza, al mundo y al universo.

De entrada, habría que distinguir entre **cosmologías** y **cosmovisiones científicas**. Desde el Paleolítico Superior, todas las antiguas civilizaciones han sentido la necesidad de buscar explicaciones que dotaran de sentido al mundo que les rodeaba. Los mitos, los rituales mágicos o las religiones incorporan cosmologías explícitas o implícitas. Pero sólo a partir de la aparición, en la antigua Grecia, de la Filosofía, de la Ciencia, de la explicación racional, puede en sentido riguroso hablarse de cosmovisiones científicas. Es decir, de cosmovisiones basadas exclusivamente en la razón. En este sentido, una cosmovisión científica es una explicación racional de la naturaleza, del mundo y del universo.

Es evidente que desde la definición analítica del término resulta imposible, en este espacio, realizar una exposición exhaustiva, siquiera completa de todos los paradigmas naturalistas que configuran las cosmovisiones científicas de las distintas épocas. Así, en la época actual, además del paradigma de la Física relativista, coexisten el de la Genética molecular o el de la nueva química. Vamos a intentar, sin embargo, aproximarnos a las principales cosmovisiones físicas de la Historia de Occidente.

Las cuatro principales cosmovisiones físicas en la Historia del pensamiento filosófico y científico de Occidente han sido:

- ✓ El paradigma de la Ciencia Antigua.
- ✓ El paradigma de la Revolución Científica.
- ✓ El paradigma de la Física Clásica.
- ✓ El paradigma de la Física Relativista.

2. EL PARADIGMA DE LA CIENCIA ANTIGUA

La Ciencia Antigua y Medieval se encuentra dominada por las concepciones metafísicas de **Platón** y **Aristóteles**, que constituyen el marco general del cual no podrá liberarse el pensamiento científico hasta la gran Revolución Científica del Renacimiento.

Esto equivale a decir que ninguna observación será tomada por válida cuando implique una contradicción con los supuestos especulativos del sistema. El criterio de verdad de la teoría será su grado de coherencia lógica con los principios metafísicos previamente establecidos, al margen de cualquier referencia efectiva a los dictados de la experiencia o de los hechos. Aristóteles, de acuerdo con su concepción empirista del saber, interesada por el mundo de los fenómenos naturales, escribirá una Mecánica y una Astronomía que serán aceptadas con carácter de verdad definitiva hasta el siglo XVI.

2.1. La mecánica aristotélica.

Aristóteles distingue entre un mundo sublunar, esférico, formado por cuatro elementos o esencias (tierra, agua, aire y fuego) y un mundo celeste, con la marca inconfundible del platonismo, incorruptible e inmutable y formado por una quinta esencia o éter.

La mecánica aristotélica se ocupa del estudio de los movimientos del mundo sublunar. Toma como punto de partida la diversidad de las esencias o elementos, caracterizados por su diferente grado de ligereza o pesadez, términos cualitativos que designan cualidades relativas entre sí, no magnitudes. La tierra es el elemento más pesado, seguido por el agua, mientras que los elementos más ligeros son, por este orden, el aire y el fuego. Las esencias determinan el movimiento natural de los cuerpos: puesto que en el mundo existe una parte inferior o mundo sublunar y una parte superior o mundo celeste, distinguirá dos movimientos simples: ascendente para los cuerpos ligeros; descendente para los cuerpos pesados, reflejo de las cualidades de las esencias. Las sustancias terrestres son más pesadas o más ligeras según la proporción de los elementos esenciales que formen parte de su composición. Los movimientos que se producen en el mundo sublunar son rectilíneos, variables y violentos, mientras que el mundo celeste o región de la quinta esencia no existe más que el movimiento circular y uniforme, el primero y más perfecto de los movimientos y el único eterno, prejuicio o dogma basado en la filosofía del filósofo presocrático Parménides.

Al explicar los movimientos que se producen en el mundo sublunar, Aristóteles establece como condición universal para que exista movimiento que ha de existir una fuerza mayor que la resistencia (que identifica con el peso) y de aplicación constante ("todo lo que se mueve es movido por otro"), puesto que en los cuerpos pesados hay una cualidad, el peso, que se manifiesta como resistencia al desplazamiento.

- En un primer caso, el movimiento rectilíneo, la aplicación de una fuerza suficiente origina un movimiento determinado por la relación entre el peso y la velocidad.
- En un segundo caso, el movimiento variable de caída de un cuerpo, establece deductivamente la proporcionalidad directa entre velocidad y peso. Suponiendo espacios y tiempos iguales y para un mismo medio, el aire, las velocidades serían inversamente proporcionales a los tiempos y los tiempos inversamente proporcionales a los pesos. Y siendo los espacios directamente proporcionales a las velocidades, los espacios recorridos son directamente proporcionales a los pesos. El peso es la principal variable interviniente.
- En un tercer caso, el movimiento de una flecha o movimiento violento, al ser necesaria una fuerza mayor que la resistencia y de aplicación constante, tuvo que recurrir a la curiosa hipótesis de la existencia de un impulso retroactivo de la columna de aire que desplaza la flecha volviendo sobre sí misma durante todo el recorrido para que esta no se detenga instantáneamente...

MECANICA ARISTOTÉLICA	
Movimiento rectilíneo	Aplicación de una fuerza constante al móvil mayor que la resistencia o peso.
Movimiento de caída	Proporcionalidad directa entre velocidad de caída y peso.
Movimiento de una flecha	Impulso retroactivo del aire que desplaza la flecha.

2.2. La astronomía aristotélica.

Según **Aristóteles** (384-322 a. de C.), el universo es un conjunto de esferas engranadas, en el centro de las cuales se encuentra la Tierra inmóvil. En las sucesivas esferas se encajan los distintos cuerpos celestes: la Luna, los planetas conocidos, el Sol y las estrellas fijas. El movimiento de las esferas procede de un Primer motor inmóvil que lo comunica al resto del sistema.

La astronomía aristotélica será notablemente ampliada por el astrónomo alejandrino **Claudio Ptolomeo** (siglo II d. De C.).

El sistema propuesto por Ptolomeo tendrá vigencia durante XVII siglos. Los supuestos teóricos son los siguientes:

- ↘ Se mantiene la separación entre mundo sublunar y celeste.
- ↘ Se trata de una teoría geocéntrica, con la tierra en el centro del universo y geostática, la tierra permanece inmóvil en ese centro.
- ↘ Los movimientos de los astros son exclusivamente circulares y uniformes, tal y como establece el dogma de la astronomía griega.
- ↘ Es un modelo geométrico que servía para “salvar las apariencias” o movimientos aparentes de los planetas, sin preocuparse de su correspondencia exacta con los movimientos reales u observados de los mismos. Para ello se combinan varios movimientos simultáneos y distintos (deferente, epiciclo, ecuante).
- ↘ Es un modelo no estructural: predecía con una cierta precisión ciertos hechos aislados, pero no integraba en un sistema armónico todos los movimientos planetarios. Al hacerlo se producían desajustes orbitales sin una solución que encajara los distintos elementos del sistema.

SUPUESTOS TEÓRICOS DE LA ASTRONOMÍA PTOLEMAICA
División entre mundo sublunar y celeste.
Teoría geocéntrica y geoestática.
Movimientos circulares y uniformes de los astros.
No es un modelo físico sino matemático.
No es un modelo estructural o integrado sino asistemático.

3. EL PARADIGMA DE LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

La gran Revolución Científica que se inicia en el Renacimiento, exigirá como condición indispensable la sustitución del paradigma de la Ciencia Antigua y Medieval en un doble significado científico, astronómico y físico.

La sustitución del modelo astronómico será obra de científicos como **Copérnico, Ticho Brahe, Kepler y Galileo**. La sustitución del modelo físico (mecánica) será obra del propio Galileo.

3.1. El modelo geocéntrico copernicano.

La revisión inicial de la astronomía aristotélico-ptolemaica fue realizada por obra de **Nicolás Copérnico** (1473-1543). El modelo astronómico ptolemaico conseguía dar una explicación convincente con arreglo a las limitadas observaciones visuales de aquellos tiempos. Pero presentaba dos graves defectos: la enorme complejidad geométrica del modelo y su carácter no estructural o desajustado.

A comienzos del siglo XVI, Copérnico formula por primera vez en el *Commentariolus* (1512) la teoría heliocéntrica -el Sol está inmóvil en el centro del Universo- y la desarrolla posteriormente en su *De revolutionibus orbium caelestium* (1543).

Copérnico inicia la desintegración del paradigma ptolemaico centrándose en el primero de sus dos graves defectos, su excesiva complejidad. Al estilo de la filosofía neoplatónica, le gustaba concebir el universo como un sistema armónico y simple, de tal manera que cuanto más sencillas fueran las relaciones naturales más cerca estaríamos del verdadero modelo del universo. No obstante, todavía persiste la hipótesis de las esferas que sostienen a los planetas en sus órbitas que no será abandonado hasta su refutación por las observaciones astronómicas de Ticho Brahe (1546-1601).

El objetivo de Copérnico consistía, por tanto, en el establecimiento de una construcción geométrica con estas dos características, armonía y simplicidad, ofreciendo una solución más sencilla que la de Ptolomeo.

Los supuestos teóricos del modelo eran los siguientes.

➤ Abandono de la hipótesis geocéntrica por la heliocéntrica. El cambio de centro disminuía el número de círculos, desde los 84 ptolemaicos a 34.

➤ Abandono de la hipótesis geoestática: la Tierra tiene un doble movimiento de rotación alrededor del eje y de traslación circular alrededor del Sol.

➤ Mantenimiento del principio de circularidad y uniformidad del movimiento de los astros, posiblemente por prejuicios neoplatónicos.

➤ La explicación copernicana, más elegante y sencilla, permitía dar una visión estructural (sistemática y unificada) de los cielos. Propone, un sistema integrado o ajustado conceptualmente, un modelo cerrado del mundo celeste.

↘ Se trata de un modelo físico, que pretende dar cuenta de los movimientos reales y observables de los cuerpos celestes.

Copérnico enseñó a los hombres a mirar al universo de una manera diferente: la Tierra ya no es el centro del Universo, sino un planeta más. El puesto del hombre en el cosmos se sitúa en una perspectiva antropológica diferente. Pero la teoría heliocéntrica estaba en contra de la autoridad de Aristóteles y también de la Biblia. Además, el modelo heliocéntrico de Copérnico tuvo que superar con sólidos argumentos algunas creencias muy arraigadas del paradigma ptolemaico y también ciertos problemas sobrevenidos, como la ausencia de sensación de movimiento terrestre, las inaceptables consecuencias físicas del movimiento de rotación y de traslación o el movimiento oscilatorio de la Tierra. No es de extrañar el considerable recelo, cuando no la oposición frontal, de la Iglesia Católica a las nuevas ideas... Situación que culminará con el proceso a Galileo por el Santo Oficio... Hasta 1822 el Papado no dio oficialmente luz verde al heliocentrismo. En todo caso, todavía faltaba la contrastación experimental del modelo copernicano. Pero esto es obra de científicos posteriores.

3.2. Las leyes de Kepler.

Kepler (1571-1630), es el primer científico moderno que de manera decidida y explícita entiende la causalidad física como armonía matemática. Kepler era un minucioso observador y también un gran matemático, preocupado por descubrir las leyes del Universo. Esto supone el inicio, que culmina con Galileo, del método de la moderna ciencia (matemáticas y experimentación).

No obstante, su pensamiento aún está abiertamente inspirado, como el de Copérnico, por principios explicativos cercanos a la mística pitagórica y neoplatónica. Estaba convencido de que Dios se atuvo al principio de los números perfectos en la creación. Hay numerosos indicios de que adoptó el modelo copernicano por razones místicas relacionadas con la posición central del Sol y su simbología religiosa.

Los supuestos teóricos de Kepler, expuestos en sus obras *Astronomia nova seu physica coelestis* (1609) y *De harmonices mundi* (1619) fueron los siguientes.

↘ El modelo es una teoría de carácter físico.

↘ Se abandona definitivamente el carácter perfecto e inmutable del mundo celeste.

↘ Se abandona definitivamente la teoría aristotélica de las esferas cristallinas.

↘ Se abandona definitivamente el principio de circularidad, en el que recaerá Galileo, como veremos. La primera ley de ley de Kepler dice: "Las órbitas planetarias son elipses y el Sol ocupa uno de sus focos".

➤ Se abandona definitivamente el principio de uniformidad. La segunda ley de Kepler dice: “Las áreas barridas por el radio de la órbita de un planeta en intervalos de tiempos iguales, son iguales”.

➤ Se organizan los datos de las observaciones precisas y sistemáticas de Ticho Brahe en un modelo matemático cerrado que expresa las regularidades o armonías profundas del universo. La Tercera ley de Kepler dice: “Los cuadrados de los períodos de revolución de dos planetas cualesquiera son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol”.

La definitiva sustitución del paradigma de la astronomía aristotélico-ptolemaico culminará con los descubrimientos técnicos (telescopio) de otro gran científico del Renacimiento, Galileo.

SUPUESTOS TEÓRICOS DE LA ASTRONOMÍA COPERNICANA
Teoría de las esferas celestes que mantienen a los astros en el cielo.
Heliocentrismo.
Doble movimiento de rotación y traslación de la Tierra.
Movimientos circulares y uniformes de los astros.
No es un modelo matemático sino físico.
Es un modelo estructural que integra todos los movimientos celestes.

Galileo (1564-1642). La idea básica de Galileo, al igual que Kepler, es el carácter armónico del universo y la capacidad del pensamiento para descubrir tales armonías. Sin embargo, la búsqueda de tales armonías o leyes de la naturaleza no obedece a principios místicos o metafísicos, sino a razones de orden lógico y metodológico.

Esta búsqueda implica, además de lo anterior, los siguientes principios explicativos.

➤ La ciencia es el resultado de la síntesis equilibrada de razón y experimentación.

➤ La ciencia tiene un método propio, el método compositivo-resolutivo, en el que se conjugan adecuadamente los dos momentos del conocimiento científico: racionales y empíricos.

➤ La ciencia consiste en el entendimiento de la profunda correspondencia entre naturaleza y matemática: el científico debe leer el gran libro de la naturaleza que está escrito en lenguaje matemático.

✎ El conocimiento científico se basa en la explicación del carácter regular y necesario de la naturaleza, cuyas relaciones causales o leyes son descubiertas aplicando correctamente el método científico.

✎ Al científico no le interesan los conceptos metafísicos, ni las causas esenciales de la especulación filosófica, sino las relaciones objetivas y cuantificables que se dan en los fenómenos naturales. El científico se pregunta por el “Cómo” fenoménico, no por el “Por qué” esencial o último de las cosas.

✎ El conocimiento objetivo investiga las denominadas **cualidades primarias** o físicas de los cuerpos (objetivas, medibles y cuantificables en lenguaje matemático).

Puesto que el anterior Unidad hemos analizado el método compositivo-resolutivo de Galileo, vamos a señalar aquí, muy brevemente, sus logros astronómicos y físicos, que suponen conjuntamente el derrumbamiento definitivo del paradigma de la Ciencia antigua y medieval.

Comenzamos por los logros o descubrimientos astronómicos.

- Fue defensor de la teoría copernicana, *Il saggiaiore* (1623) y *Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo* (1632), lo que le llevó al conocido enfrentamiento con la Iglesia y a su posterior procesamiento.

- Fue el creador de la astronomía telescópica, *Sidereus nuntius* (1610). Realizó observaciones decisivas sobre la superficie de la Luna, las manchas solares, las fases de Venus y Mercurio, los cuatro satélites de Júpiter (planetas mediceos), el anillo de Saturno, la Vía Láctea o la Nova de 1604.

En cuanto a los avances en física, la crisis y sustitución de la mecánica aristotélica es también obra de **Galileo**. En sus escritos titulados *De motu* (comenzada en 1590) y sobre todo en el *Diálogo sobre dos nuevas ciencias* (1638), expone y desarrolla la nueva ciencia de la Dinámica. Vamos a analizar, a continuación, sus supuestos teóricos.

Galileo en 1604 (carta a Paolo Sarpi) todavía defendía la relación aristotélica de proporcionalidad entre espacio y velocidad. Posteriormente, en *Los Diálogos...* adoptó la hipótesis según la cual el movimiento de caída de un cuerpo es uniformemente acelerado, es decir, “Aquel en que partiendo del reposo se producen incrementos iguales de velocidad en tiempos iguales”.

Galileo determinó experimentalmente, mediante la construcción de un artificio de planos inclinados, la proporcionalidad entre espacio y tiempo, “Las distancias recorridas por un grave son una a otra proporcionales a los cuadrados de los intervalos temporales”. La proporcionalidad entre espacio y tiempo y su correspondiente, la velocidad es proporcional al tiempo, implicaba la falsedad de las proporciones aristotélicas, la velocidad es proporcional al peso, al independizar espacio y velocidad del peso del cuerpo. **Boyle** descubrirá posteriormente que en el vacío, condición ideal negada por Aristóteles, todos los cuerpos caen con igual velocidad.

Simultáneamente al descubrimiento de la ley del movimiento uniformemente acelerado, Galileo enuncia el principio de inercia al afirmar que en un plano horizontal ideal, al desaparecer los rozamientos o resistencias al movimiento, este continúa de forma indefinida y circular (prejuicio del movimiento circular, no superado por Galileo) lo que hace innecesaria la existencia de una fuerza mayor que la resistencia y de aplicación constante. Lo que implica la falsedad del correspondiente principio de la mecánica aristotélica: para existir movimiento es necesaria una fuerza mayor que la resistencia y de aplicación constante. Se trata del movimiento uniforme o pendular, que también se produce en la caída de graves cuando el aumento de la velocidad provoca un aumento paralelo de la resistencia hasta un punto que impide todo aumento ulterior de velocidad.

Existe un movimiento inercial en la naturaleza que Galileo identificó con el de los astros en el vacío o inercia circular (puesto que sigue aceptando el dogma del principio de circularidad y uniformidad). Todavía la ciencia de la época desconoce la explicación de la fuerza que mantiene y acelera a los planetas en sus órbitas..

Galileo investigó los tres tipos de movimientos.

- **Movimiento uniforme.** Al que definió, formuló matemáticamente y estudió en condiciones terrestres (rozamientos), en condiciones experimentales ideales (principio de inercia) y en condiciones celestes (inercia circular). Refutando los correspondientes principios y proporciones aristotélicas.

- **Movimiento de caída de un cuerpo.** Al que definió, formuló matemáticamente y estudió en condiciones terrestres (incrementos de velocidad por unidad de tiempo), en condiciones experimentales ideales (vacío) y celestes (no se produce al no existir gravedad). Refutando los correspondientes principios y proporciones aristotélicas.

- **Movimiento de proyectiles.** Al que definió como un movimiento resultante de la composición de dos movimientos: uno natural (de caída) y otro violento (el horizontal). El espacio recorrido equivale a la diagonal del paralelogramo de fuerzas (gravedad y empuje). La composición de fuerzas en todos los puntos de la trayectoria determina un movimiento resultante parabólico. Lo formuló matemáticamente y refutó definitivamente la peculiar explicación aristotélica.

SUPUESTOS TEÓRICOS DE LA MODERNA CIENCIA FUNDADA POR GALILEO
Síntesis entre lenguaje matemático y control experimental de la variables
Correspondencia entre fenómenos naturales y lenguaje matemático.
Búsqueda de leyes físicas o regularidades causales de la naturaleza.
Interés exclusivo por las relaciones empíricas medibles o cuantificables que se dan entre los fenómenos naturales.
Investigación de las cualidades primarias u objetivas de los cuerpos.

4. EL PARADIGMA DE LA FÍSICA CLÁSICA

4.1. La fuerza de atracción entre los cuerpos.

Las investigaciones de Galileo habían puesto de manifiesto que tenía que existir una fuerza que mantuviese a los planetas en sus órbitas (que Galileo supuso erróneamente circulares y Kepler acertadamente elípticas). A partir de la formulación del principio de inercia en el *De motu*, Galileo supuso que existía un movimiento inercial que no se da en los cuerpos terrestres, puesto que la gravedad es la propiedad física universal de los cuerpos terrestres, pero que es el que rige el movimiento de los cuerpos celestes en el vacío. Por prejuicios neoplatónicos, por un lado, y por la ignorancia de la fuerza de atracción real entre masas, por otro, pensó que tal movimiento era circular (inercia circular).

Anteriormente Kepler, influido por la obra de **Gilbert**, *De magnete* (1600), había especulado con la posibilidad de que las fuerzas que mantienen unidos a los planetas en sus órbitas fueran unos misteriosos haces de fuerzas que irradiaban del Sol, arrastrando a los astros en sus revoluciones. Suponía además que tales fuerzas eran inversamente proporcionales al radio de su órbita o distancia al Sol, que estaba en el centro del sistema, lo cual explicaba los diferentes períodos de revolución de los planetas. Análogamente, Kepler explicaba la caída de los cuerpos sobre la tierra (movimiento descendente aristotélico) mediante la hipótesis de que eran atraídos por tales fuerzas magnéticas. De tal manera que las fuerzas que arrastraban a los astros en sus períodos de revolución y las que atraían a los cuerpos hacia el centro de la Tierra eran las mismas. La conjetura de Kepler era acertada, aunque su carácter místico le apartaba de los objetivos de la ciencia.

En 1673 **Cristian Huyguens** publicó su obra sobre dinámica *Horollogium Oscilatorium*. En esta obra, entre otras cosas (energía cinética, teoría del centro oscilatorio), obtuvo resultados decisivos sobre la explicación del movimiento circular. Los resultados, adaptados a una terminología actual, serían los siguientes: cuando un cuerpo de masa m describe un recorrido circular de radio r con una velocidad v , ha de actuar sobre él una fuerza centrípeta, Huyguens demostró que la aceleración producida por esa fuerza tiene que ser igual a la velocidad al cuadrado partido por el radio.

En resumen, tanto Kepler (atracción magnética) como Galileo (inercia circular) habían imaginado esa fuerza. Ahora faltaba demostrar científicamente su existencia.

4.2. El descubrimiento de la ley de gravitación universal.

Newton (1642-1727) en sus dos obras principales *Principia Mathematica philosophiae naturalis* (1687) y *Optica* (1704) aceptará los supuestos matemático-experimentales de Kepler y Galileo, si bien, rechazando todo prejuicio o presuposición no comprobada en torno a la armonía del universo y

tomando exclusivamente los resultados contrastados experimentalmente como punto de partida de la ciencia ("*hypotheses non fingo*").

➔ El primer resultado -y logro decisivo- de la aplicación del método matemático-experimental será la formulación de la primera ley del movimiento: "Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme, a menos que sea obligado a cambiar dicho estado por fuerzas ejercidas sobre él" (principio de inercia o de conservación del movimiento). Lo cual permitió rectificar la hipótesis de la inercia circular de Galileo. Así, en cada punto de su órbita, un planeta tiende por inercia (fuerza centrífuga) a seguir la tangente y para que continúe en su órbita es necesaria una fuerza dirigida hacia el centro (fuerza centrípeta) de tal intensidad que su composición con la centrífuga determine la órbita del planeta.

➔ La segunda ley del movimiento dice: "El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y se produce según la línea recta en que ha actuado dicha fuerza". Esta ley permitió a Newton formular el concepto de masa como una relación matemática entre las fuerzas y las aceleraciones que producen (la fuerza es igual a la masa por la aceleración) definiendo con ello las constantes de inercia de un cuerpo y demostrando la inexactitud de la fórmula aristotélica (la fuerza es igual al peso por la velocidad).

➔ Por su parte, la tercera ley del movimiento señala: "Siempre hay una reacción contraria e igual a una acción; es decir, que las acciones de dos cuerpos siempre son mutuamente iguales y de sentido contrario". Se trata del principio de acción y reacción o de conservación de la cantidad de movimiento.

En 1684 flotaba en el ambiente de la comunidad científica la cuestión de la gravitación. Parece que **Hooke**, **Halley**, **Huyguens** y **Wren** demostraron independientemente que si las órbitas planetarias, que en realidad son elipses, se toman como círculos, entonces la fuerza centrípeta es inversamente proporcional al cuadrado del radio. Esto se deducía directamente de la demostración de Huyguens sobre la fuerza centrípeta y de la tercera ley de Kepler (valor de la fuerza centrípeta en relación con el radio y en relación con la velocidad).

Partiendo de tales cálculos, Newton combinó matemáticamente estos resultados (el valor de la fuerza centrípeta y la tercera ley de Kepler) con la segunda ley del movimiento, con lo que llegó a sintetizar el problema en una sola fórmula la ley de gravitación universal: "La fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias". Fórmula que permite explicar de modo unificado los movimientos planetarios y la caída de los cuerpos en la Tierra. Y que constituye la más eficaz demostración de la capacidad del método científico para expresar las leyes de la naturaleza en lenguaje matemático.

De acuerdo con las mediciones bastante precisas de la época (**Picart**), la ley de la gravitación se vio confirmada experimentalmente por el estudio del propio Newton sobre la órbita lunar. Estudios experimentales posteriores han comprobado la exactitud de las predicciones implicadas en la fórmula.

Se demostró así que los movimientos naturales obedecían realmente a una necesaria armonía matemática, regida por las leyes de la astronomía de Kepler y por las leyes del movimiento de Galileo y de Newton. Con lo que las leyes de Kepler y la dinámica de Galileo quedaban integradas en una cosmovisión científica unificada e integrada deductivamente.

5. EL PARADIGMA ACTUAL DE LA FÍSICA RELATIVISTA

La cosmovisión científica contenida y propuesta en la obra de Newton se aceptó como una verdad inamovible a lo largo de los siglos XVIII y XIX. El paradigma de la Física Clásica, expuesto en los *Principia...* de Newton, a pesar de las intenciones metodológicas del autor, también contenía de manera explícita algunos principios explicativos de carácter especulativo, tal y como aparecen definidos en el *Escolio General* del libro III de la obra.

La Física Clásica consideraba al espacio y al tiempo como unos sistemas de referencia últimos y absolutos para cualquier tipo de movimiento terrestre o celeste. Se trata de un espacio y de un tiempo **objetivos** (en ambos casos no son el resultado de nuestra organización sensorial o cerebral), **independientes** (no dependen de los objetos que se encuentran en el espacio o tienen duración en el tiempo); el espacio es **isotópico** (es igual y homogéneo en todos los lugares) y el tiempo es **regular** (consta de intervalos iguales), el espacio es **infinito** (no tiene límites) y el tiempo es **eterno** (no tiene principio ni fin); finalmente, el espacio es **tridimensional** (está sometido a las propiedades de la geometría euclídea) y el tiempo es **continuo** (transcurre en una sola dirección irreversible).

Es evidente que tales supuestos no proceden de la observación empírica ni tienen confirmación experimental. El propio Newton fue consciente de ello. Simplemente son axiomas de la Física Clásica, es decir, proposiciones no comprobadas pero imprescindibles para la construcción del paradigma.

5.1. La Teoría especial de la Relatividad

La Teoría Especial de la Relatividad, formulada por el científico alemán de origen judío **Albert Einstein** (1879-1955) fue el genial intento de dar respuesta a las graves e insalvables anomalías del paradigma de la Física Clásica y propiciar una gran Revolución conceptual con el subsiguiente cambio de paradigma. En 1905 publicó en los Anales de Física un breve artículo sobre la *Electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, en el que se exponen los supuestos teóricos de la Teoría Especial de la Relatividad:

- ✓ La velocidad de la luz es una constante universal. Su velocidad en el vacío es de 299.792,5 Km/s. No depende de la velocidad de la fuente luminosa ni de la velocidad del observador. La velocidad de la luz es teóricamente la máxima que puede ser alcanzada.
- ✓ Si la velocidad de la luz es una constante universal, la única y nueva referencia absoluta, el espacio y el tiempo no lo ser pueden también. Las medidas de ambos dependen ahora del observador del sistema inercial de referencia. Espacio recorrido y tiempo transcurrido no pueden considerarse como un valor absoluto, igual para todos los cuerpos del universo. Cada sistema lleva su medida relativa del espacio y del tiempo.

- ✓ No existe el éter y por tanto no existe el espacio absoluto como el medio físico de las fuerzas electromagnéticas o gravitatorias.
- ✓ No hay un sistema de referencia absoluto para los movimientos de la mecánica o sistema inercial último.
- ✓ La contracción de la masa, expuesta por Lorentz, es verdadera: 7) El tiempo medido depende de la velocidad del sistema inercial de referencia. Esto significa que no existe un tiempo absoluto de referencia, sino un tiempo relativo a la velocidad del sistema en el que se mide, lo que fue contrastado experimentalmente a finales de los años noventa por dos relojes atómicos capaces de medir millonésimas de segundo, uno en tierra y otro en un avión. El tiempo transcurre más lentamente para un observador según aumenta la velocidad, hasta llegar a ser nulo al alcanzar la velocidad de la luz.
- ✓ La masa aumenta con la velocidad. Además, la masa puede convertirse en energía, la bomba atómica es el ejemplo más significativo. La materia se convierte en energía cuando se mueve al cuadrado de la velocidad de la luz. Con la consiguiente refutación del principio de conservación de la masa y su sustitución por el principio de la transformación masa-energía ("La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma").
- ✓ Espacio y tiempo no son independientes de los cuerpos, sino que son la cuarta dimensión de los cuerpos, determinada por la naturaleza de sus interacciones físicas (como, en su momento, había sugerido Leibniz frente a Newton). Este principio, como muchos de la teoría de la relatividad, no es intuitivo ni empírico y escapa incluso a la imaginación.
- ✓ El movimiento no es la descripción de las trayectorias de masas continuas en el espacio y en el tiempo. Las masas configuran físicamente la cuarta dimensión de los cuerpos.

5.2. Teoría General de la Relatividad.

La Teoría Especial de la Relatividad estudia sistemas en movimiento uniforme, rectilíneo que están sometidos a la gravedad (inerciales). También Einstein, como sus ilustres predecesores, Aristóteles, Galileo y Newton, intentó dar una visión unitaria de la totalidad de los movimientos terrestres y celestes. Es decir, de cualquier sistema de referencia en movimiento: de los inerciales y de los no inerciales o aquellos en que actúa un movimiento acelerado, no hay velocidad constante ni tampoco gravedad. Lo hizo en su Teoría General de la Relatividad. Exponemos sus supuestos teóricos.

- ✓ El espacio físico no es el espacio tridimensional recto descrito por la Geometría euclídea. Einstein eligió para describirlo la geometría del espacio tetradimensional y curvo de Riemann (1826-1866).

✓ La curvatura del espacio es producida por los campos gravitatorios de las masas. Siempre que haya materia el espacio se curvará en función de la masa del cuerpo. E inversamente la gravedad es un efecto de la curvatura del espacio, como demuestran las órbitas elípticas de los planetas, estrellas y galaxias. Esto también afecta a los haces lumínicos. La luz no se desplaza en línea recta en el espacio sino que se curva por los campos gravitatorios que atraviesa.

✓ El universo tiene las siguientes propiedades:

- Tetradimensional o de cuatro dimensiones: junto con las tres dimensiones del espacio, el tiempo es la cuarta dimensión de los cuerpos.

- Sin centro: las masas del universo se ubican y reubican sin una dirección determinada. El Universo se expande y contrae según la ubicación aleatoria de las masas, como afirma la teoría cósmica de la Gran explosión.

- Ilimitado: el espacio-tiempo físico no admite una discontinuidad lleno-vacío o ser-nada en la materia; la antimateria no es lo mismo que la nada.

SUPUESTOS TEÓRICOS DE LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD	SUPUESTOS TEÓRICOS DE LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD
La velocidad de la luz es una constante universal.	El espacio físico no es rectilíneo y tridimensional sino curvo y cuatridimensional en función de la curvatura que producen las masas.
No hay un sistema de referencia absoluto (espacio y tiempo) para los movimientos de los cuerpos.	El universo no tiene centro. Las masas se distribuyen aleatoriamente
Espacio y tiempo no son independientes de los cuerpos, sino que son su cuarta dimensión.	El universo se expande actualmente como un globo que se hincha permanentemente.
Los cuerpos y masas determinan las propiedades puntuales de la cuarta dimensión del espacio-tiempo.	El Universo es ilimitado: la materia no admite la discontinuidad ser-nada.