

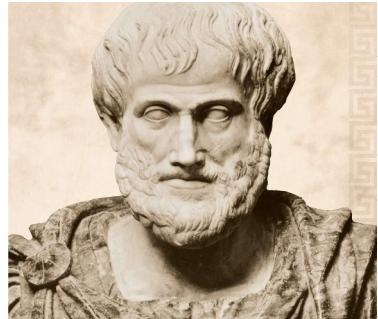
Tema 3: cosmología



TABLA DE CONTENIDOS

1. Aristóteles
 2. Ptolomeo
 3. Copérnico
 4. Giordano Bruno
 5. Kepler
 6. Galileo Galilei
 7. Newton
 8. Actividades
-

1. Aristóteles



Física:

- Definición del movimiento como paso de la potencia al acto. Ser en acto es lo que se es de hecho, ser en potencia es lo que se puede llegar a ser. Implica una visión teleológica del movimiento (telos=fin). Se contrapone a la visión mecanicista del movimiento (el movimiento del universo no tiene causas finales, sólo causas eficientes, teoría defendida por los atomistas). Según Aristóteles todo lo que se mueve está (1) en potencia y (2) compuesto de materia. El único ser que no se encuentra en potencia en la ontología Aristotélica es el Primer motor inmóvil.

- Movimiento explicado a partir de su causa final: Aristóteles defiende la teoría de los lugares naturales, según la cuallos seres que no tienen conciencia se mueven buscando su lugar natural, de esta manera el cosmos permanece ordenado y equilibrado. Partiendo de esta base Aristóteles distingue entre movimiento natural y movimiento violento (cuando se imprime un movimiento a un objeto que lo expulsa de su lugar natural o lo desvía de su movimiento natural).
- Movimiento explicado a partir de su causa eficiente (mecánica): según Aristóteles el movimiento se da siempre por contacto, en un universo que él imagina lleno de materia (sin espacio vacío). De modo que lo que explica el movimiento de un objeto es su contacto ininterrumpido con otros seres que se encuentran también en movimiento. En el caso de una flecha disparada, es el contacto con el aire lo que explica su movimiento.

Cosmovisión:

- Modelo geocéntrico: la Tierra es el centro del universo.
- Universo finito, esférico y lleno de materia. La última capa del universo es la esfera de las estrellas fijas (todas las estrellas se encuentran a la misma distancia de la Tierra).
- Distinción entre mundo sublunar y mundo supralunar:

El mundo sublunar está formado por los cuatro elementos ordenados en cuatro esferas concéntricas: tierra, agua, aire y fuego en ese orden. Todos los seres que pertenecen al mundo sublunar se componen de estos cuatro elementos, en proporciones diversas. El movimiento natural en el mundo sublunar es rectilíneo (ascendente o descendente).

El mundo supralunar está formado por éter (el quinto elemento), un elemento más ligero que el aire que emite luz y causa un movimiento circular (el movimiento natural de los cuerpos celestes). Tanto el Sol, como la Luna, como las estrellas fijas, como las estrellas errantes (como se llamaba entonces a los planetas) están formados de éter, y por lo tanto, todos ellos emiten luz. En el mundo supralunar se encuentran la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y las estrellas fijas con sus respectivas esferas y en ese orden. Cada una de ellas se mueve en contacto con la esfera inmediatamente superior.

- Primer motor inmóvil: el movimiento de la esfera de las estrellas fijas no puede darse por contacto puesto que estas son la periferia del universo. De manera que su movimiento no puede explicarse por causas eficientes sino por causas finales. Aristóteles postula la existencia de un primer motor inmóvil, inmaterial (formal) y en acto puro. Todo lo que está hecho de materia es móvil (está en potencia) e imperfecto (se corrompe). El primer motor inmóvil no puede causar el movimiento por contacto porque no tiene materia, pero es perfecto y constituye la finalidad de todos los movimientos del cosmos (todo está en potencia con respecto a él). Esto explicaría por qué los cuerpos celestes nunca se detienen o nunca encuentran su “lugar natural”.

Nota: Aristóteles sostiene que la Tierra está en reposo en el centro del universo, sin embargo sostiene que en el universo todo (salvo el PMI) se está moviendo constantemente. Esto es porque el



griego antiguo no distingue entre la noción de cambio y la de movimiento. De modo que la Tierra se mueve porque está en constante transformación, pero está en reposo (no hace movimiento de rotación ni de traslación).

2. Ptolomeo

El principal logro de Ptolomeo (matemático del siglo II d.C) fue resolver algunas de las anomalías del aristotelismo sin renunciar a sus bases: geocentrismo y órbitas circulares. Ptolomeo propuso una serie de soluciones “ad hoc” para parchear algunos de los errores ya manifiestos de la cosmovisión aristotélica. Gracias a él esta cosmovisión perduró hasta la modernidad. Al modelo cosmológico de Aristóteles con los ajustes de Ptolomeo se le conoce como “paradigma aristotélico-ptolemaico”. Si bien no es una representación real o realista siquiera del universo (no satisface el principio de economía), la cosmovisión de Ptolomeo es interesante por su gran complejidad.



Introdujo los siguientes dispositivos geométricos:

-Excéntrico: centro imaginario de todos los deferentes en el universo. No coincide con el centro del universo, lugar que ocupa la Tierra. El excéntrico explica la irregularidad en la distancia entre la Tierra y el Sol (a veces mayor y a veces menor), que no debería darse si la Tierra fuese el centro exacto de todas las órbitas, sin renunciar a la posición central de la Tierra en el universo.

-Ecuante: punto imaginario con respecto al cual la velocidad del Sol es constante. El ecuante, el excéntrico y la Tierra están alineados. La Tierra y el ecuante, además, son puntos equidistantes respecto del excéntrico (simétricos). La velocidad angular del Sol medida desde el ecuante es constante, de modo que la velocidad del Sol aumenta al acercarse a la Tierra porque se aleja del punto ecuante. Con este ajuste Ptolomeo explica la irregularidad en la velocidad del Sol preservando cierta uniformidad en su movimiento.

-Deferente: círculos imaginarios cuyo centro es el punto excéntrico. Los únicos astros cuya órbita coincide con el deferente son la Luna y el Sol. Las órbita de las errantes son los epiciclos.

-Epiciclo: círculo imaginario que describen las errantes alrededor del deferente. El epiciclo es la explicación que dio Ptolomeo a los movimientos retrógrados de las errantes. El movimiento retrógrado de una errante es el que aparentemente realiza en sentido contrario a su trayectoria normal. Todas las errantes hacen movimientos retrógrados (Mercurio lo hace varias veces al año), lo cual contradice la teoría aristotélica del movimiento circular y uniforme de las esferas del mundo supralunar. La manera en que Ptolomeo solventó esta anomalía fue planteando la hipótesis de que las errantes no recorren sus deferentes, sino que los rodean.

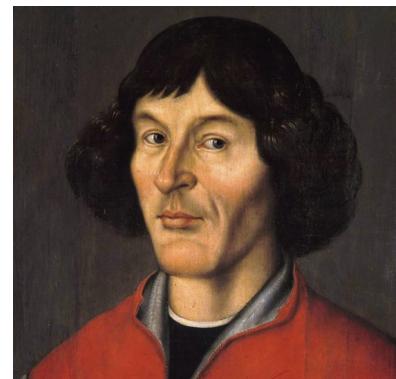
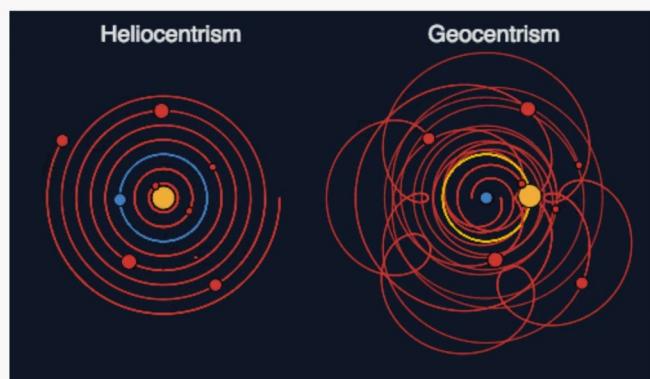
Cabe decir que la verdadera explicación del movimiento retrógrado es que los planetas no giran alrededor de la Tierra, sino que la Tierra y el resto de planetas giran alrededor del Sol. Desde nuestra perspectiva, al adelantar (Marte, Júpiter y Saturno) o ser adelantados (Mercurio y Venus) por otros planetas parece que estos hacen movimientos



retrogrados. De modo que el movimiento retrogrado es una ilusión óptica, no es real. Sólo puede considerarse real dentro del paradigma geocéntrico.

3. Copérnico

Copérnico (siglo XV) se considera el primer científico moderno en defender un modelo heliocéntrico. La gran virtud de su sistema es su sencillez. Copérnico no dispone de mucha más información observacional que Ptolomeo, sino que reformula la misma idea partiendo de la hipótesis de que es el Sol lo que está en el centro del universo. Esta hipótesis reduce considerablemente el número de órbitas y lugares geométricos que se necesitan para explicar el movimiento del universo.



- De los dispositivos geométricos de Ptolomeo, Copérnico sólo conserva el excéntrico, como centro de todas las órbitas (las de los planetas y la de la Tierra alrededor del Sol).
- Al observar que las estrellas no varían su posición al ser observadas desde lugares muy distantes de la órbita terrestre, Copérnico deduce que están muy lejos, mucho más de lo que se creía hasta entonces. Sin embargo, sigue pensando que están fijas en una esfera.
- La Tierra sólo es centro de la órbita lunar y centro de gravedad en el universo. Esta última precisión es fundamental para comprender por qué no percibimos los movimientos de la Tierra, dando a entender que la percepción del movimiento es relativa a un centro de gravedad (Copérnico ya en su momento llegó a atisbar la relatividad del movimiento, que será posteriormente formulada por Galileo). Con todo, no tiene la noción de gravedad que manejamos hoy en día: según Copérnico los cuerpos celestes no son graves.
- La Tierra realiza dos movimientos: uno anual (el que llamamos de traslación) y uno diurno (el de rotación).

4. Giordano Bruno



Científico italiano con una visión panteísta de la naturaleza. Fue perseguido por la Inquisición por sus ideas y quemado en la hoguera. Sostenía un modelo heliocéntrico y defendió la hipótesis revolucionaria de que el universo es infinito, luego el Sol es el centro de las órbitas de la Tierra y los planetas, pero no el centro del universo. El universo no tiene centro ni bordes.

Asimismo Giordano Bruno recibe la influencia de los epicúreos (que continúan la tradición de los atomistas) que creían en el espacio vacío. Giordano Bruno sostiene cierta concepción del espacio vacío pero no tan

radical como los atomistas: cree que en el espacio interplanetario hay una “sustancia sutil” que identifica con el éter. Esta diferencia se debe a que, mientras que los atomistas y los epicúreos eran mecanicistas; Bruno sostiene una visión animista del universo: el universo como algo vivo y dinámico.

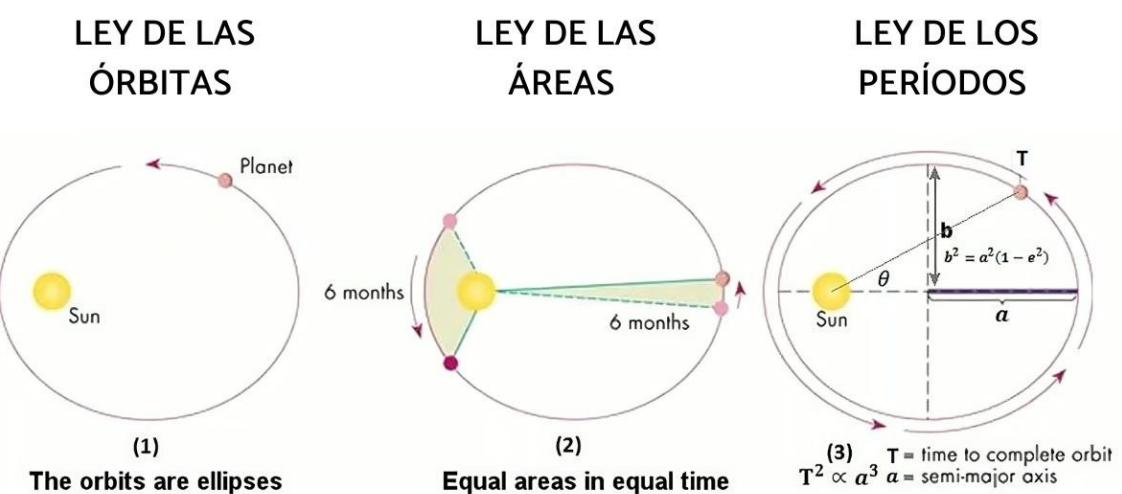
Al afirmar la infinitud del cosmos queda descartada la hipótesis de las estrellas fijas. Bruno sostiene que son otros soles y que es probable que haya planetas orbitando alrededor de ellas: defiende la pluralidad de los mundos.

Otros aspectos innovadores de la cosmovisión de Giordano Bruno son:

- Defiende la homogeneidad del universo: el universo entero está constituido de la misma substancia, luego rechaza la distinción entre mundo sublunar y mundo supralunar.
- Defiende la idea de un universo isótropo: la materia, fuerzas y leyes naturales son las mismas en todo el cosmos. Por lo tanto, no existen los lugares naturales.

5. Kepler

El heliocentrismo, pese a resolver algunas de las anomalías del paradigma aristotélico-ptolemaico, sigue presentando ciertas dificultades. Kepler resolverá tales dificultades postulando las órbitas elípticas en lugar de las circulares. Ya no es necesario hablar de ecuante o excéntrico: la órbita de la Tierra en torno al Sol es elíptica, y este se encuentra en un foco de la elipse. Kepler formula las siguientes leyes del movimiento:



1) Las órbitas descritas por los planetas alrededor del Sol son elípticas (elipses), uno de cuyos focos lo ocupa el Sol.

2) Las áreas descritas por el radio vector (segmento entre el planeta y el Sol) son proporcionales al tiempo empleado en recorrerlas. Dicho de otro modo, los planetas barren áreas iguales en tiempos iguales. Así se explica que la Tierra aumente de velocidad al acercarse al Sol: para barrer una determinada área tiene que recorrer una distancia mucho mayor que si se encontrase lejos del Sol.

3) Los cuadrados de los tiempos empleados por los diversos planetas en recorrer enteramente sus órbitas se relacionan entre sí con los cubos de los ejes mayores de las elipses descritas por los planetas (la distancia entre la el Sol y el planeta en su afelio). Nota: afelio y perihelio son respectivamente el punto más lejano y el más cercano entre el Sol y un planeta, los dos vértices de la órbita elíptica.

Resulta curioso cómo la segunda ley de Kepler, tal y como demostró Newton más adelante, se ajusta a la realidad de la mecánica celeste sin tener en cuenta ningún concepto de la física como gravedad, aceleración, fuerza o inercia. La coincidencia entre física y geometría puede interpretarse como una feliz coincidencia o como un gran descubrimiento.

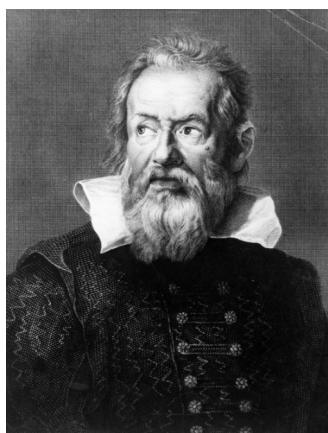
En cuanto a la tercera ley de Kepler, esta falla al no tener en cuenta la masa de los planetas para calcular su período orbital. Sin embargo, como la masa del Sol es mucho mayor que la de cualquier planeta, las diferencias de masa de los planetas no son significativas. De modo que los resultados de su aplicación son casi exactos. Newton en su ley de gravitación universal sí que tendrá en cuenta las masas de los planetas.

6. Galileo Galilei

Telescopio

Inventa el primer telescopio en 1608. Gracias a este novedoso invento descubre que:

- La luna tiene cráteres y valles. En definitiva, tiene una superficie rocosa. Galileo descubre que no está hecha de éter y que no emite luz. Al observar que los planetas se iluminan y oscurecen de una manera similar a la Luna, concluye que estos también reflejan la luz del Sol.
- Saturno tiene un anillo, lo que explica su aspecto alargado



- El Sol tiene manchas que no se encuentran siempre en la misma posición. Galileo concluye que el Sol gira sobre sí mismo, en el centro del universo. Es el primer científico en afirmar que todo el universo se está moviendo (no en el sentido aristotélico, sino en el sentido moderno).

Pese a estos avances, Galileo seguirá afirmando la existencia de la esfera de las estrellas fijas y las órbitas circulares. Galileo defiende un universo infinito y esférico, a la medida del entendimiento humano, por la influencia del racionalismo (corriente filosófica impulsada por el humanismo renacentista): simplemente un universo infinito no sería cognoscible en su totalidad. Por otra parte, no pudo hallar una explicación física a las órbitas elípticas de Kepler.

Relatividad del movimiento

La postula en su obra *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*. En ella pone en boca de dos personajes –Simplicio y Salviatti- una polémica propia de la época: el debate entre el modelo geocéntrico y el heliocéntrico. Simplicio defiende el geocentrismo apelando al sentido común y a la observación pura: sostiene que si la Tierra se movie, deberíamos notarlo. Sostiene la existencia del movimiento y del reposo en términos absolutos, y nuestra capacidad para percibirlos. Salviatti, personaje que representa el pensamiento del propio Galileo, contraargumenta que el movimiento es relativo y que por ello no percibimos los movimientos de la Tierra. Defiende un sistema heliocéntrico en el cual no existe el reposo absoluto. Las cosas parecen estar en movimiento o en reposo según desde donde se posicione el espectador.

Galileo formula un Principio Óptico y un Principio Mecánico. Mientras que el óptico tiene que ver con nuestra percepción relativa del movimiento, el mecánico consiste en que toda interacción mecánica que suceda en la Tierra se da de igual manera independientemente de que esta se mueva o esté en reposo: el presunto movimiento de la Tierra no intervendría en los sucesos mecánicos que se dan en ella.

Método hipotético-deductivo

Galileo propone este método que pasará a la historia como el “método científico” por antonomasia. Se llama hipotético-deductivo porque:

- Parte de hipótesis (posibilidades, suposiciones, ideas no comprobadas) y no de experimentos. Galileo sostiene que la ciencia avanza más gracias a grandes ideas que gracias a una multitud de experimentos. Aunque sea un saber experimental, la razón debe imponer sus leyes a la experiencia. Galileo desconfía de la observación “ingenua” o “pura”: la ciencia no puede partir directamente de los hechos, de la observación (como haría Simplicio) porque los hechos hay que saber interpretarlos. En este sentido Galileo concede mayor peso a la razón que a la sensibilidad.
- Es deductivo porque a partir del conocimiento de posibles verdades generales infiere enunciados particulares. El orden deductivo implica el paso del conocimiento de algo general, universal o anterior; a algo concreto, particular o posterior. Es la metodología inversa a la inducción. A diferencia de la inducción, la deducción es una inferencia lógicamente válida: el conocimiento de una causa nos permite deducir un efecto de manera lógicamente consistente, pero no al revés.

El método hipotético-deductivo consta de los siguientes pasos:

- 1) Observación de un problema
- 2) Planteamiento de una hipótesis

La hipótesis no necesariamente tiene que tener una conexión visible, evidente o lógica (por la regla del condicional, la causa no está lógicamente implicada por el efecto) con el problema observado.

- 3) Deducción de sus consecuencias

La hipótesis es la posible causa de un determinado fenómeno observado. Este paso consiste en inferir qué efectos tendrían lugar si la hipótesis fuese cierta.

- 4) Experimentación: contrastación de los efectos deducidos de la hipótesis con los hechos observables.
- 5) Refutación o confirmación de una hipótesis. Si se confirma, se convierte en ley científica. Si no simplemente es descartada.

Mecanicismo

A diferencia de Giordano Bruno, la visión que Galileo tiene del universo es plenamente mecanicista. Su confianza en nuestra capacidad de conquistar con el conocimiento la totalidad del universo reposa en la idea de que el universo tiene un orden racional y causal que la razón humana puede descifrar. Para Galileo el universo no tiene alma, ni esencia, ni significados ocultos. Introduce una distinción entre cualidades primarias y cualidades secundarias:

Las cualidades primarias son aquellas medibles, cuantificables, matematizables: peso, volumen, velocidad, densidad, etc. Estas son las cualidades objetivas que la ciencia estudia.

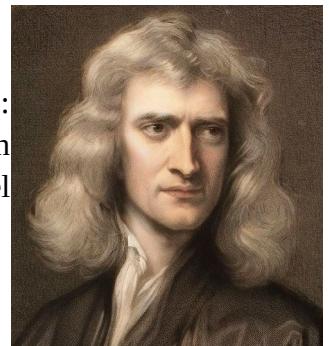
Las cualidades secundarias son el color, la textura, el olor, y otros aspectos que experimentamos a través de la sensibilidad, que a veces varían de unos individuos a otros y sobre los cuales la ciencia apenas puede teorizar. Esto para Galileo no pone de relieve una debilidad de la ciencia, porque para

Galileo no son propiedades reales de la materia, sino aspectos subjetivos de la percepción: las cualidades secundarias sólo existen en la mente humana.

7. Newton

Con Newton se consolida la “revolución científica” iniciada por Copérnico: la nueva visión del Universo triunfa definitivamente sobre la visión aristotélico-ptolemaica. Isaac Newton nace en 1642 en Woolsthorpe, el mismo año en que muere Galileo.

Método inductivo



El método científico de Newton es radicalmente distinto al método hipotético-deductivo de Galileo: Newton emplea una metodología inductiva, que parte de hechos particulares para llegar gradualmente a las primeras causas o leyes mecánicas (al revés que la metodología inductiva). En el método inductivo de Newton, las leyes científicas son generalizaciones empíricas que se abstraen directamente de los hechos. Mientras que el método hipotético-deductivo consistía en postular una posible causa y deducir a partir de ella cuáles serían sus efectos (para comprobar si coinciden con los hechos); el método inductivo consiste en inducir una causa directamente a partir de un efecto, o un enunciado general a partir de una serie de enunciados particulares.

Newton advierte que la metodología inductiva no tiene el rigor de la deductiva, puesto que no se puede inferir con seguridad un enunciado general a partir de uno particular. Del mismo modo, el efecto no implica necesariamente una determinada causa. Por ello afirma, en la cuarta regla de su método, que “las proposiciones inferidas por inducción a partir de los fenómenos deben ser tenidas por exacta o por aproximadamente verdaderas”.

La razón por la que Newton defendía la inducción pese a ser un método lógicamente inexacto es porque, a diferencia de Newton, da prioridad a la observación (la sensación, la experimentación) sobre la reflexión de cara al desarrollo de la ciencia. Será uno de los primeros pensadores en establecer una distinción tajante entre metafísica y ciencia en cuanto saber experimental. Consideraba que las hipótesis sólo tenían lugar en saberes especulativos y reflexivos como la metafísica o la teología, pero no en un saber como la ciencia, a la que llamaba “filosofía experimental”. Afirmaba de manera recurrente “no finjo hipótesis”, dando a entender que podía lograr grandes resultados con su método sin necesidad de valerse de “hipótesis inventadas”. Con todo, su método tuvo muy escasa relevancia.

Fuerza, velocidad, aceleración

Newton define “fuerza” como aquello capaz de modificar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo, o de producir en él una deformación. Newton estudiará el movimiento en el vacío y el movimiento cuando intervienen fuerzas externas. Cabe señalar que para Newton el movimiento natural de un objeto es rectilíneo y uniforme en cualquier parte del universo: de esta manera se desplazan los cuerpos en el espacio vacío.

Newton distingue dos tipos de fuerza: una *vis insita* o fuerza intrínseca que es la que tiene un cuerpo en función de su masa y velocidad y por la cual tiende a conservar su trayectoria rectilínea y uniforme; y una *vis impresa* o fuerza extrínseca que es la que se le imprime a un objeto por choque o por presión (una fuerza externa que deforma su trayectoria rectilínea y uniforme).

Define velocidad como cantidad de movimiento y aceleración como cambio en la cantidad de movimiento.

Las leyes del movimiento

1^a Ley de inercia: “todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar de estado”.

2^a Ley de fuerza/acceleración: “el cambio de cantidad de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella se imprime” (sigue la dirección del vector).

3^a Ley de la acción y de reacción: “con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas”.

Mecánica celeste

Newton, en su primera etapa, se acoge a la teoría de los Vórtices y otras consideraciones de influencia cartesiana, y entiende la gravedad como resultado de un éter mecánico (no como una atracción, sino más bien como un empuje). Los físicos en esta época creían que las fuerzas que explicaban el movimiento circular de los planetas eran dos fuerzas iguales y opuestas (en sentido contrario): la fuerza centrípeta y la fuerza centrífuga.

Será a partir de su segunda etapa cuando reciba la influencia de la hipótesis de Hooke y desarrolle su teoría del movimiento inercial. Hooke introdujo la novedosa idea de combinar la inercia rectilínea con una propiedad atractiva del cuerpo central en virtud de la cual el planeta está constantemente desviado de la recta, lo que se denominaba “fuerza atractiva de dirección central”. El caso es que la inercia sumada a la fuerza centrípeta serán para Hooke las responsables del movimiento planetario.

Newton se da cuenta de que la manera en que la atracción hacia un centro (el Sol) desvía lo que sería el movimiento natural de los planetas (el rectilíneo, en virtud de la inercia) no tiene precisamente la regularidad de un trazado circular (en el que el radio es constante), puesto que la atracción crece a medida que los objetos están más próximos. Además, dichas fuerzas no actúan precisamente en sentido contrario: el planeta se acerca de forma oblicua al Sol, de modo que el Sol ejerce atracción desde un lateral, mientras que la inercia lo impulsa hacia adelante.

En términos de fuerzas extrínsecas e intrínsecas: el Sol ejerce una fuerza extrínseca de atracción sobre la Tierra, que le imprime una aceleración positiva. En la medida que se acerca, aumenta su velocidad, y por lo tanto su fuerza intrínseca (mayor inercia). Por su propia inercia, que la impulsa a moverse en una trayectoria rectilínea, no colisiona contra el Sol, sino que pasa muy cerca (perihelio) y sale despedida. En la medida que se aleja la gravedad actúa como resistencia y la Tierra pierde velocidad y por lo tanto fuerza extrínseca. Cuando la gravedad supera la inercia, la Tierra vuelve a acercarse al Sol, trazando una órbita elíptica. Este movimiento es similar al de un péndulo.

Newton desarrolla la Ley de Gravitación Universal y demuestra la validez de las leyes de Kepler a través de la física.



Espacio y tiempo

Para Newton espacio y tiempo son absolutos, matemáticos, infinitos e inmateriales (abstractos); y completamente independientes de los hechos. El espacio es más que la mera disposición de los cuerpos, y el tiempo es más que el orden cronológico de los acontecimientos. Habría espacio y tiempo aunque no aconteciese nada. La ciencia o filosofía experimental estudian los fenómenos y estos suceden en el espacio y el tiempo, que son dimensiones que no se pueden observar o experimentar a través de la sensibilidad (por lo tanto no son objeto del conocimiento científico). A diferencia de Galileo, Newton (que era muy creyente) cree que la ciencia no puede conocerlo todo: espacio y tiempo son naturalezas ocultas acerca de las cuales sólo es posible especular, por ello su estudio se corresponde con otros saberes: la metafísica y la teología. Newton define el espacio y el tiempo como órganos de la sensibilidad divina.

8. Actividades

- 1) Elabora una bibliografía de 15 entradas como mínimo de las obras más importantes de los autores tratados en el tema. Las obras tienen que estar BIEN referenciadas (con editorial y año de publicación) y ordenadas alfabéticamente.
- 2) Compara la visión del espacio y el tiempo de Newton con la de Einstein en el paradigma contemporáneo de la ciencia.
- 3) Resume en 20-30 líneas el contenido del texto *la Revolución copernicana* de Bertrand Russell (subido al aula virtual).

Nota: las actividades tienen que presentarse escritas a mano para evitar el copypaste. Si no, no se recogerán.