

La ciencia moderna

La ciencia moderna se inicia propiamente con Francis Bacon. La principal obra de éste es el *Novum Organum*. Tradicionalmente el término “Organon” designa el conjunto de los tratados de lógica de Aristóteles y define la lógica como instrumento de la ciencia. La obra de Francis Bacon se opondrá a esta concepción. El *Novum Organum* tiene, a la vez, un aspecto crítico (de la ciencia tradicional) y un aspecto positivo (una nueva forma de concebir la ciencia). Los principales aspectos de la crítica de Bacon a la ciencia tradicional son los siguientes:

- la lógica (la silogística) no es ni el instrumento ni la forma por excelencia del saber;
- una ciencia lógica sólo es una ciencia *a priori* y formal, *vacía*; no enseña nada, puesto que se limita a explicitar el contenido de las premisas;
- la ciencia debe ser **inductiva y no deductiva**; pero no se trata de la inducción aristotélica, que sólo es una intuición inmediata de lo universal en lo particular; se debe practicar la *inducción* en sentido moderno, es decir, la liberación progresiva de las identidades y de las diferencias reales gracias a la observación y a la comparación repetida de las observaciones;
- la experiencia adopta el sentido de la **experimentación**, es decir, interacciones activas con la naturaleza para provocarla “a que desvele sus secretos”; no conformarse con observar pasivamente; utilizar instrumentos y técnicas;
- se necesita **verificar**, escoger, confirmar y corregir incansablemente a fin de distinguir entre las causas eficientes verdaderas y los factores marginales, las circunstancias accidentales de un fenómeno.
- la utilización de **instrumentos** y de procedimientos determinados permite explicar y controlar los fenómenos;
- el fin último del conocimiento está en aumentar el control, la potencia, el **dominio del hombre sobre la naturaleza**, con el propósito de someterla a sus necesidades y proyectos.

A esta imagen de la ciencia sólo le falta un elemento para llegar a ser lo que hoy es: la **matematización**; pero ésta es obra de Galileo, Descartes y Newton. Los dos rasgos principales de la ciencia moderna iniciada por Galileo y Newton son: En primer lugar, la **destrucción del cosmos** entendido como un mundo de estructura finita, jerárquicamente ordenado, un mundo cualitativamente diferenciado desde el punto de vista ontológico; esta idea es sustituida por la de un universo abierto, indefinido e incluso infinito, que las mismas leyes universales unifican y gobiernan. Esto implica que **desaparecen de la perspectiva científica todas las consideraciones fundadas en el valor, la perfección, la armonía, la significación y el designio**. En segundo lugar, la **geometrización del espacio**, es decir, la sustitución de la concepción de un espacio cósmico cualitativamente diferenciado y concreto, el de la física pre-galileana, por el espacio homogéneo y abstracto de la geometría euclidiana.

Los precedentes: Copérnico y Kepler

Copérnico

La idea del heliocentrismo parece que le sobrevino a Copérnico allá por los años 1505 o 1506; no obstante, el sistema de Copérnico entraba en abierta contradicción con lo que decían las Sagradas Escrituras, y esto era una cosa bastante difícil de olvidar en aquella época.

Para salvar esta dificultad, Ossianer propuso a Copérnico la idea de presentar su sistema no como algo real, sino adoptar una concepción fenomenista de la ciencia. Esta concepción fenomenista de la ciencia es expuesta en el prólogo de Ossianer a la obra de Copérnico: La ciencia – y en especial la astronomía – no tiene, según Ossianer, sino un fin único, un solo objeto, el de “**salvar los fenómenos**”. Su misión no consiste en encontrar las causas ocultas ni los movimientos reales de los cuerpos celestes – cosa que no es capaz de hacer –, sino en relacionar y ordenar sus observaciones por medio de hipótesis que permitan calcular, prever y predecir las posiciones (visibles y aparentes) de los planetas. Esas hipótesis, las de Copérnico como las de los demás astrónomos, no deben pretender ser verdaderas, ni siquiera verosímiles, sino simplemente sencillas y convenientes para el cálculo.

Kepler

Johannes Kepler realizó sus observaciones basándose en el análisis de la gran cantidad de datos recopilados por Tycho Brahe; su principal preocupación era el perfeccionamiento de la teoría heliocéntrica, cuya armonía y simplicidad contemplaba “con arrebatada e increíble delicia”. Desde el comienzo de sus trabajos estuvo fuertemente influido por la metafísica pitagórica y neoplatónica.

Para Kepler, aun más que para Copérnico, la directriz de la mente divina era el orden geométrico y las relaciones matemáticas que venían expresadas en las características del sistema heliocéntrico.

Cuando Kepler estaba estudiando las trayectorias de los planetas según la imagen heliocéntrica se le ocurrió que podrían corresponder a una figura, la elipse (1ª ley). Si se admitía que la elipse era la trayectoria natural de un planeta, se obtenía un esquema geométrico del mundo, de gran simplicidad, en el cual **todos los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol**, con éste en uno de sus focos. Esta ley presenta una primera ventaja evidente: con ella se eliminan todos los epiciclos, todas las excéntricas; las órbitas son simples elipses.

De acuerdo con la primera hipótesis de Kepler, **el tiempo que tarda un planeta en recorrer una pequeña distancia a lo largo de su trayectoria sería proporcional a su distancia al Sol** (2ª ley), suponía que la suma de estas distancias era igual al área barrida por la línea trazada desde el Sol al planeta. Pero aún estaba insatisfecho con un aspecto de sus descubrimientos: no se había hallado ninguna relación entre los movimientos de los distintos planetas. No había ninguna razón por la que pudiese esperarse que existiese

tal relación. Sin embargo, Kepler estaba convencido de que, al investigar las diferentes posibilidades encontraría una relación simple que ligase todos los movimientos que ocurren en el sistema solar. Él buscaba esta regla, incluso en el dominio de la teoría musical, esperando, como los pitagóricos, encontrar una conexión entre las órbitas planetarias y las notas musicales. Tras muchos intentos fallidos, finalmente encontró esta tercera ley: **el tiempo que un planeta tarda en dar una vuelta completa alrededor del Sol (período) elevado al cuadrado es igual al radio medio de la órbita elevado al cubo multiplicado por una constante, que es igual para todos los planetas.**

Galileo

La astronomía

Aplicó a los cielos el nuevo invento del siglo: el telescopio. Se puso enseguida a construir uno y tuvo la genial idea de alzarla al cielo. Sus descubrimientos aparecerán expuestos en el *Sidereus nuncius*:

Para empezar, describe las montañas de la Luna. Lo que **rompe la heterogeneidad** que Aristóteles había atribuido al Cosmos; incluso discute la posibilidad de existencia de atmósfera en la luna; dibuja en una página del libro todas las estrellas desconocidas que descubre en la constelación de Orión y en las Pléyades, lo que le hizo agrandar e tamaño del Universo hasta considerar su infinitud; la Vía Láctea se le presentó como lo que es en realidad, a saber, como un tupido conjunto de estrellas y no como una nebulosidad que reflejara el brillo del Sol o de la Luna, ni como un meteoro, según creyó y afirmó el mismísimo Aristóteles. Por último, anuncia el descubrimiento de los satélites de Júpiter.

Con este último descubrimiento acababa de golpe con una de las más importantes objeciones de los anticopernicanos. Según éstos, si todos los astros efectúan su revolución alrededor del Sol, no se comprende por qué la Luna constituye una excepción girando alrededor de la Tierra. Con su descubrimiento Galileo muestra que no todos los cuerpos giran alrededor del Sol, ni siquiera alrededor de la Tierra, pues hay cuerpos que giran alrededor de Júpiter. También descubrió las fases de Venus, que solo se podían explicar si ambos, Venus y la Tierra, giran alrededor del Sol.

La caída de los graves

Aristóteles había dicho ya que el cuerpo que cae se acelera, pero lo explicaba porque el móvil tiene que llegar lo antes posible a su lugar natural. Galileo vio que en el movimiento acelerado de la caída la velocidad crece con el tiempo, llegó a alcanzar la ley que define sus **espacios en función del tiempo** transcurrido. De ahí que postulara la existencia de una fuerza «hacia abajo», que todavía no alcanza la noción newtoniana de «atracción gravitatoria».

El movimiento de los proyectiles

Galileo resolvió este antiguo problema con un notable análisis en el que aparece, junto con el principio de la **inercia**, el de la **combinación de movimientos**.

Afirma que un móvil lanzado por un plano horizontal, a falta de obstáculos, prosigue indefinidamente su movimiento uniforme si el plano se extiende hasta el infinito. Pero si el plano es limitado, al rebasar sus extremos, el móvil sometido a la gravedad “añadirá a su primer movimiento uniforme e indestructible la propensión hacia abajo”, efecto de la gravedad. Así nacerá un **movimiento compuesto** del movimiento horizontal y del movimiento acelerado de descenso. Y Galileo demostró que la trayectoria del proyectil es una parábola.

Principio de relatividad

Una de las grandes ideas que Galileo introdujo en la ciencia fue que una fuerza que actúa sobre un cuerpo determina la aceleración, y no la velocidad. La velocidad de una partícula es el ritmo de cambio, con respecto al tiempo, de la posición de dicho punto. La aceleración es el ritmo de cambio de esta velocidad con respecto al tiempo. Los cuerpos en movimiento libre continúan uniformemente su camino, y no se necesita ninguna fuerza que mantenga su marcha, el movimiento rectilíneo uniforme es físicamente indistinguible del estado de reposo.

Galileo dio una descripción muy gráfica en términos de un barco en el mar: encerraos con un amigo en la cabina principal bajo la cubierta de un gran barco, llevando con vos moscas, mariposas y otros pequeños animales voladores. Llevad un gran recipiente con agua y algún pez dentro; colgad una botella que se vacía gota a gota en alguna vasija que hay debajo de ella. Con el barco aún en reposo, observad cuidadosamente cómo vuelan los pequeños animales con igual velocidad hacia todos los lados de la cabina. El pez nada indistintamente en todas las direcciones; las gotas caen en la vasija inferior; ... Cuando hayáis observado cuidadosamente todas estas cosas... haced avanzar el barco con la velocidad que queráis, de forma que el movimiento sea uniforme y no haya oscilaciones en un sentido u otro. No descubriréis el menor cambio en ninguno de los efectos mencionados, ni podríais decir a partir de ellos si el barco está moviéndose o está quieto... Las gotas caerán como antes en la vasija inferior sin desviarse hacia la popa, aunque el barco haya avanzado mucho, mientras las gotas están en el aire. El pez en el agua nadará hacia la parte delantera de su recipiente sin mayor esfuerzo que hacia la parte trasera, y se dirigirá con la misma facilidad hacia un cebo colocado en cualquier parte del borde del recipiente. Finalmente, las mariposas y moscas continuarán su vuelo indistintamente hacia cualquier lado, y no sucederá que se concentren hacia la popa como si se cansaran de seguir el curso del barco, del que hubieran quedado separadas una gran distancia si se hubieran mantenido en el aire.

El llamado *principio de relatividad galileana*, es realmente crucial para que tenga sentido dinámico el punto de vista copernicano. La relatividad galileana pone en claro cómo puede estar la Tierra en movimiento, aunque su movimiento no es algo que podamos percibir directamente.

Para Galileo, el movimiento de un cuerpo viene definido por: 1) el movimiento del cuerpo dentro del sistema en que se encuentra y 2) el movimiento del sistema. Con ello se muestra que es necesario hacer un desdoblamiento: no es lo mismo hacer la observación desde dentro que desde fuera del sistema.

La relatividad galileana nos dice que no hay significado absoluto para el estado de reposo, así que no se puede asociar ningún significado al mismo punto del espacio en dos instantes diferentes. El movimiento es relativo al sistema de referencia que escogemos y, por tanto, arbitrario. Con ello, se elimina un sistema de referencia fijo para todo el universo. Con Galileo el movimiento se reduce a relación; el movimiento es la relación de unos móviles con otros; si esa relación no cambia se puede decir que no hay movimiento.

Newton

Newton es, quizás, el mayor científico de todos los tiempos. En su monumental obra *Philosophiæ naturalis principia mathematica* logra construir un sistema completo del mundo, sistema que será el paradigma de todos los físicos desde el momento de la aparición de la obra hasta el año 1905, en que aparece la *Teoría especial de la relatividad* de Albert Einstein. Incluso después de 1905 este sistema del mundo seguirá siendo válido para grandes masas y velocidades muy pequeña

Para Newton, el movimiento es la traslación de un cuerpo de su lugar a otro; es absoluto si los lugares considerados son, a su vez, absolutos, y relativo, si esos lugares son relativos.

Para llegar al movimiento *verdadero y absoluto* de un cuerpo, Newton compone el movimiento (relativo) de ese cuerpo en el lugar (relativo) en que se lo considera, con el movimiento (relativo) del lugar mismo en otro lugar en el que esté situado, y así sucesivamente, paso a paso, hasta llegar a un *lugar inmóvil*, es decir, al sistema de referencias de los movimientos absolutos. Este sistema de referencia sería el espacio y tiempo. Absolutos.

Sobre los cimientos que Galileo había colocado, Newton pudo erigir una catedral de soberbia grandeza. Newton dio las tres leyes que gobiernan el comportamiento de los objetos materiales. La primera y segunda leyes eran esencialmente las dadas por Galileo – del que reconoce su paternidad en los Principia –:

1ª ley: si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, éste continuará moviéndose uniformemente en línea recta;

2ª ley: si una fuerza actúa sobre él, entonces el producto de su masa por su aceleración es igual a dicha fuerza.

Una de las intuiciones propias de Newton fue darse cuenta de la necesidad de una tercera ley: la fuerza que un cuerpo A ejerce sobre un cuerpo B es exactamente igual y opuesta a la fuerza que el cuerpo B ejerce sobre el cuerpo A.

Esto proporciona el marco básico. El universo newtoniano consta de partículas que se mueven en un espacio que está sujeto a las leyes de la geometría euclídea. Las aceleraciones de dichas partículas están determinadas por las fuerzas que actúan sobre ellas.