graduarse -en 1665, año de la peste- y no es imposible que su observación de la caída de la manzana haya ocurrido realmente. Pero, en todo caso, tenía dudas acerca de si le debería dar o no una gran importancia, ya que no publicó nada por entonces y se ocupó de otras cosas durante 20 años. Sus obras posteriores muestran cómo era capaz de considerar varias hipótesis incompatibles entre sí, antes de decidirse por una de ellas; y es posible que así hiciera respecto a la gravitación, como lo indica su especulación cartesiana de 1679, que antes citamos textualmente. Lo cierto es que lo que pensaba Newton en 1665 no pudo haber influido en el curso de la ciencia y, por otra parte, que la ley del inverso del cuadrado ya había sido encontrada por otros, antes de que Newton la publicara.

No obstante, la contribución de Newton fue decisiva. Logró encontrar el método matemático para convertir los principios físicos en resultados calculables cuantitativamente y susceptibles de confirmación en la observación; y recíprocamente, para poder llegar a los principios físicos partiendo de dichas observaciones. Según sus propias palabras, en el prefacio de los Principia:

> Ofrezco esta obra en calidad de principios matemáticos de la filosofía, porque la tarea entera de la filosofía parece consistir en esto: partir de los fenómenos de los movimientos para investigar las fuerzas de la Naturaleza y, entonces, partir de estas fuerzas para demostrar los otros fenómenos...; deseo que el resto de los fenómenos de la Naturaleza se pueda derivar de los principios mecánicos por un razonamiento de la misma especie, porque he sido inducido por muchas razones a sospechar que todos ellos dependen de ciertas fuerzas que hacen que las partículas de los cuerpos, por algunas causas desconocidas hasta ahora, o se atraen mutuamente o se unen en figuras regulares o, bien se repelen y se alejan unas de otras. Como estas fuerzas se desconocen, hasta ahora los filósofos han intentado en vano explorar la Naturaleza; pero yo espero que los principios aquí establecidos puedan arrojar alguna luz sobre esto o acerca de un método más verdadero para la filosofía.

El cálculo infinitesimal.

El instrumento de que se sirvió Newton fue el cálculo infinitesimal o, como lo denominó él, método de las fluxiones (el flujo constante de una función continua). Este método vino a ser la culminación del esfuerzo de muchas generaciones de matemáticos, empezando desde los predecesores babilonios, e incluyendo a Eudoxio y Arquímedes. Durante el siglo XVII se desarrolló con rapidez, a través de los trabajos de Fermat y Descartes. La forma en que ahora conocemos el cálculo infinitesimal le fue dada por Leibniz (1646-1716). Desde el punto de vista del progreso de la ciencia, no tiene mucha importancia el decidir si es a Newton o a Liebniz a quien le corresponde el mérito mayor o la originalidad, por más que esto fue motivo de una encarnizada controversia en esa época. Lo importante es que Newton utilizó su método de las fluxiones para resolver cuestiones vitales de la física y que enseñó a otros a hacer lo mismo.

Empleando el cálculo infinitesimal es posible encontrar la posición de un cuerpo en cualquier instante, conociendo las relaciones entre dicha posición y su velocidad, o el ritmo en que cambia su velocidad en cualquier otro instante. En otras palabras, una vez que se conoce la ley de las fuerzas se puede calcular la trayectoria. Aplicada inversamente, la ley newtoniana de la fuerza gravitatoria se desprende directamente de la ley del movimiento de Kepler. Matemáticamente, se trata de dos maneras diferentes de decir la misma cosa; pero, en tanto que las leyes del movimiento planetario parecen abstractas, en cambio la idea de un planeta mantenido en su curso por una poderosa fuerza de atracción es una imagen fácil de entender, aunque la fuerza gravitacional misma siga siendo un completo misterio.

El cálculo, tal como fue desarrollado por Newton, podía servir, y de hecho le sirvió a él mismo, para resolver una gran variedad de problemas mecánicos e hidrodinámicos. De inmediato se convirtió en el instrumento matemático para la comprensión de todas las variables y movimientos y, luego, de toda la ingeniería mecánica; y se ha mantenido casi como instrumento único hasta el presente siglo. En un sentido entoramento real, el cálculo infinitesimal ha sido para la nueva ciencia un instrumento tan útil como el telescopio.

Los "Principia".

En los años de 1685 y 1686, Halley tuvo que emplear todo

su poder persuasivo para convencer a Newton de que incorporara la solución de los movimientos planetarios a su Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. La obra fue publicada por la Royal Society, después de haber obtenido la aprobación para imprimirse de su presidente -que era entonces Samuel Pepys-, pero la Sociedad carecía de fondos suficientes y Halley tuvo que pagar los gastos de su propio bolsillo. Esta obra es inigualable hasta ahora en la historia de la ciencia, por la manera en que se sostienen y desarrollan los argumentos físicos. Desde el punto de vista matemático, sólo es comparable a los Elementos de Euclides; y, respecto a su penetración física y al efecto que tuvo sobre las ideas, únicamente se puede comparar al Origin of Species de Darwin. Inmediatamente se convirtió en la biblia de la nueva ciencia, no tanto como fuente venerada de doctrina -aunque hubo cierto peligro de esto, especialmente en Inglaterra-, sino como punto de partida para ampliar los métodos ejemplificados en ella.

Newton, en sus Principia, fue mucho más allá del establecimiento de las leyes del movimiento de los planetas. Su mayor propósito consistió en demostrar cómo la gravitación universal podía mantener el sistema del mundo. Pero no trató de conseguirlo por el antiguo camino filosófico, sino por el nuevo sendero cuantitativo y físico. En este sentido tuvo que realizar previamente otras dos tareas: primero, demoler todas las concepciones filosóficas anteriores, tanto antiguas como modernas; y, entonces, establecer su propia manera de explicar los fenómenos, que no sólo resultó ser la correcta, sino también la más exacta.

Una gran parte de los Principia está dedicada a hacer una refutación concienzuda y cuantitativa del sistema más aceptado entonces -y con el cual coqueteó el propio Newton-, que era la concepción cartesiana con su conjunto de torbellinos en que se movía cada planeta. Se trataba de una genial idea intuitiva, pero totalmente incapaz de dar -como lo demostró Newton- resultados cuantitativos precisos. Al hacer esto, Newton se vio conducido a fundar la ciencia de la hidrodinámica, discutiendo y refinando las ideas de viscosidad y de resistencia del aire; con lo cual estableció las bases de la mecánica de los fluidos, que tuvo su pleno desenvolvimiento en la época del aeroplano.

Aunque Newton utilizó el cálculo para obtener sus resultados, en los Principia tuvo el cuidado de volver a elaborar todos sus razonamientos al modo de la geometría clásica griega, que era comprensible para los otros matemáticos y astrónomos. La consecuencia práctica inmediata de su publicación fue el suministrar un sistema de cálculo

que permitía determinar con mucho mayor precisión las posiciones de la luna y de los planetas, con base en un mínimo de observaciones; cosa que sus predecesores sólo podían hacer por medio de la extensión empírica de grandes series de observaciones. Por ejemplo, con el sistema newtoniano, son suficientes tres observaciones para fijar la posición de un objeto celeste indefinidamente en el futuro.

La prueba práctica de esto la dio poco después de Newton su amigo Halley, con su famoso cometa, cuyo retorno fue predicho venturosamente con base en las teorías newtonianas. Las tablas de navegación se hicieron mucho más precisas, gracias al empleo de las teorías newtonianas. Desgraciadamente, el objeto celeste más conspicuo que se puede observar, con el propósito de determinar la longitud, es la luna, que tiene al mismo tiempo el movimiento más complicado dentro del sistema solar. El movimiento lunar nunca pudo ser reducido a un orden lo suficientemente simple para servir de buena orientación a los navegantes; y, por eso, fueron finalmente los relojeros con mentalidad científica quienes obtuvieron el premio -o la parte de éste que consiguieron sacarle al Almirantazgo- sobre los astrónomos con mentalidad mecánica.

Newton sustituye a Aristóteles: un universo establecido frente a un universo afirmado.

La teoría newtoniana de la gravitación y su contribución a la astronomía señalan la etapa final de la transformación de la concepción aristotélica del mundo, que iniciara Copérnico. La visión de las esferas puestas en acción por un primer motor o por los ángeles bajo el mandato de Dios, quedó sustituida efectivamente por la consideración de un mecanismo que funcionaba de acuerdo con una simple ley natural, sin requerir la aplicación comtinua de una fuerza, ya que únicamente habría necesitado de la intervención divina para su creación y para ser puesto en movimiento.

Newton mismo, que estaba enteramente seguro de su consideración, dejó abierta la puerta para que la intervención divina mantuviera la estabilidad del sistema. Pero esta puerta fue clausurada por Laplace, haciendo desaparecer la intervención divina. La solución de Newton, que contenía todas las magnitudes necesarias para la predicción práctica de las posiciones de la luna y los planetas, se abstiene del planteamiento de cuestiones fundamenta

les acerca de la existencia de un plan divino. En realidad, Newton tenía conciencia de que él había revelado dicho plan y no deseaba plantear más cuestiones.

Newton hizo a un lado la embarazosa afirmación que había hecho acerca del movimiento al sostener, siguiendo a sus amigos platónicos, que el espacio era el sensorio -la conciencia o el cerebro- de Dios y, por ello, tenía que ser absoluto. De esta manera evitó confundirse en teorías relativistas. Su propia teoría no daba razones de por qué los planetas se hallan más o menos en un mismo plano y se mueven en el mismo sentido; para lo cual los torbellinos cartesianos habían dado una fácil explicación. Newton disfrazó honradamente su ignorancia al respecto, postulando que tal había sido la voluntad de Dios al principio de la creación.

Para ese entonces había terminado la fase destructiva del Renacimiento y la Reforma; y se planteaba la necesidad de establecer una nueva transacción entre la religión y la ciencia, tal como las que existían entre la monarquía y la república y entre la gran burguesía y la nobleza. El sistema newtoniano del universo representa una concesión considerable de parte de la ortodoxia religiosa, ya que la mano de Dios dejó de ser claramente visible en cada acontecimiento celestial o terrestre, quedando confinada a la creación general y a la organización del conjunto. Dios se convirtió de hecho -al igual que los ungidos por él en la tierra- en un monarca constitucional. Y, por otra parte, los científicos convinieron en no entrometerse en el campo propio de la religión -el mundo de la vida humana, con sus aspiraciones y responsabilidades-. Esta transacción, sabiamente recomendada por el Obispo Sprat y predicada por el temible Dr. Bentley, en sus sermones sobre Boyle en 1692, se mantuvo hasta que surgió Darwin en el siglo XIX.

Aun cuando el sistema de la gravitación universal pareció ser en su época -y todavía parece ser- la máxima contribución de Newton, lo cierto es que su influencia sobre la ciencia, y fuera de ella, ha sido todavía más eficaz a través de los métodos que utilizó para obtener sus resultados. Su cálculo suministra un modo universal de pasar de los cambios de la magnitudes a las magnitudes mismas, y viceversa. Así estableció la clave matemática adecuada para encontrar la solución de los problemas físicos durante otros 200 años. Al formular sus leyes del movimiento, que no conectan la fuerza con el movimiento sino con el cambio de movimiento, rompió definitivamente con la vieja consideración del sentido común de que la fuerza era necesaria para mantener el

movimiento; relegando a la fricción -que hacía necesaria la vieja consideración en todos los mecanismos prácticos- a un papel secundario, lo cual corresponde al propósito de abolirla que tiene todo buen ingeniero. En una palabra, Newton estableció en definitiva la concepción dinámica del universo, en lugar de la concepción estática que había satisfecho a los antiguos. Esta transformación, junto con su atomismo, muestra que Newton concordaba inconscientemente con el mundo económico y social de su tiempo; en el cual la empresa individual, donde cada quien se abre su propio camino, había sustituido al orden jerárquico fijo del final del período clásico y de la época feudal, en donde cada quien sabía que lugar ocupaba.

Completamente aparte de estas conquistas reales, la obra de Newton -que representa el refinamiento final de un siglo de experimentos y cálculos- ofreció un método digno de confianza que pudo ser empleado con seguridad por los científicos posteriores. Al mismo tiempo volvió a mostrar, tanto a los científicos como a los no científicos, que el universo se encuentra regulado por leyes matemáticas simples. Por ello fue, como veremos más adelante que las leyes de la electricidad y el magnetismo fueron construídas sobre un modelo newtoniano, y que la teoría atómica de los químicos fue una consecuencia directa de las especulaciones atómicas de Newton.

El prestigio y la influencia de Newton.

Los mismos éxitos logrados por Newton trajeron aparejadas las correspondientes desventajas. Sus habilidades eran tan grandes y su sistema parecía ser tan perfecto, que positivamente desanimaron a los científicos para seguir avanzando durante el siglo siguiente, o, por lo menos, para profundizar en los campos de que él se ocupó. En la Gran Bretaña, esta restricción se mantuvo en las matemáticas hasta mediados del siglo XIX. La influencia de Newton perduró mucho más que su sistema, y el tono entero que dio a la ciencia sirvió también para que las severas limitaciones implicadas por su sistema -que se derivan principalmente de sus prejuicios teológicos- vinieran a ser reconocidas hasta la época de Einstein, y ni siquiera por completo.

Paradójicamente, ya que todo su deseo consistía en limitar la filosofía a su expresión matemática, el efecto más inmedia