

EL NACIMIENTO DE LA NUEVA CIENCIA

Roberto Cañas-Quirós

Licenciado en Filosofía por la Universidad de Costa Rica y profesor en ella. Es autor de diversos artículos en revistas especializadas. Le han sido publicados varios artículos en Acta Académica en varios números anteriores. robertoc_123@hotmail.com

1. LOS ORÍGENES GRIEGOS DE LA CIENCIA MODERNA

En el mundo griego, durante la época helenística (336 – 200 a. C.), se desarrolló una gran producción científica en la ciudad de Alejandría, la cual tuvo contacto directo con la ciencia y la técnica de antiguas civilizaciones orientales como la de Egipto, Mesopotamia e India. El Museo de Alejandría, fundado alrededor del 290 a. C. por Tolomeo, fue la primera institución de investigación científica sufragada por el Estado y de contribuciones sin precedentes hasta entonces. Era un gran edificio que disponía de un comedor, sala de lectura, claustro, jardín botánico, parque zoológico, observatorio astronómico y biblioteca (la famosa Biblioteca de Alejandría, que contenía cerca de 500.000 volúmenes o rollos). También albergaba y se usaban para la enseñanza objetos como instrumentos quirúrgicos y astronómicos, pieles de animales, colmillos de elefantes y bustos. Sus directores y miembros asociados eran mantenidos por el Estado y conformaban una élite aislada del resto de la población. Se puede decir que el Museo fue una continuación del Liceo de Aristóteles, aunque con un énfasis nuevo en la astronomía y las matemáticas, y una mayor disposición a la hora de efectuar experimentos. Además, no fueron apreciados como conocimientos inferiores –como hubiera hecho Platón–, las descripciones astronómicas exactas como las de Eudoxo, Heráclides e Hiparco, la neumática y los ingeniosos inventos de aire comprimido de Ctesibio y Herón, o la mineralogía descriptiva de Teofrasto. La teoría atómica de Demócrito como explicación de la naturaleza es revitalizada, cuando anteriormente había sido censurada por Platón y Aristóteles.

Cabe afirmar que el período helenístico alejandrino, en la rama científica que superaba teorías de peso anteriores, puede parangonarse con las nuevas concepciones acontecidas durante el Renacimiento. Las dos características fundamentales de la ciencia helenística son, por un lado, la especialización en campos del saber aproximadamente delimitados y, por otro, la investigación científica autónoma. En este último caso, se trata de una búsqueda del conocimiento con independencia de los dogmas religiosos y filosóficos. También hay que matizar durante este período el supuesto empleo de una cierta metodología experimental o de una ciencia aplicada, aun cuando haya rasgos destacados en los seguidores del Liceo aristotélico y sobre todo en Arquímedes. La ciencia helenística permaneció atada al espíritu de la filosofía presocrática que buscaba alcanzar un estado «contemplativo» o «teórico», en un deseo desinteresado por conocer y ajeno a las necesidades

materiales más urgentes. Los científicos griegos antiguos, al contar con esclavos que servían para la solución de los problemas prácticos y al no haber necesidad de una producción a gran escala porque el bienestar socio- económico repercutía sólo en una minoría, tuvieron muy escasa la mentalidad relativa a la técnica aplicada.

Después de la muerte de Aristóteles, su discípulo más renombrado fue Teofrasto, quien extendió la investigación principalmente en la rama científica. En el 323 a. C. escribió *Historia de las plantas y Etiología de las plantas*, las cuales constituyen los primeros tratados completos de la ciencia de la botánica, cuya última palabra en este campo se prolongó durante toda la Edad Media.

El matemático Euclides hacia el final del siglo IV a. C. escribió la obra *Elementos de geometría*, un extenso tratado sobre materias tales como geometría plana, proporciones en general, propiedades de los números, magnitudes inconmensurables y geometría del espacio, la cual se ha utilizado como texto durante 2.000 años e, incluso hoy, una versión modificada de sus primeros libros constituye la base de la enseñanza de la geometría plana en los centros de enseñanza secundaria.

El astrónomo Aristarco de Samos (310 – 230 a. C.) propuso un sistema planetario heliocéntrico (con centro en el Sol). Antes de él los pitagóricos habían postulado una Tierra esférica que se movía en una órbita circular alrededor de un fuego central y usaron las matemáticas como disciplina fundamental en toda investigación científica. A pesar de que Aristarco se anticipó por muchos siglos a las teorías de Copérnico, su tesis no fue conocida sino hasta después del Renacimiento. Este sistema astronómico tuvo escasa aceptación porque contradecía la experiencia cotidiana. Por otra parte, con la llegada del cristianismo, tanto la Iglesia católica como posteriormente las protestantes, consideraron tal punto de vista – en buena parte por el modo controvertido en que surgió la cuestión - incompatible con su visión religiosa, cuando se argumentaba que la Biblia estaba equivocada.

El matemático Arquímedes (287 – 212 a. C.) sentó las bases de la mecánica y la hidrostática (una rama de la mecánica de fluidos) e hizo importantes invenciones, dentro de la maquinaria de guerra, como la invención de la catapulta y un sistema de espejos —quizá legendario— que incendiaba las embarcaciones enemigas al enfocarlas con los rayos del sol. Sin embargo, sus aplicaciones prácticas en el campo de la mecánica fueron más que nada un pasatiempo, pues su auténtica actividad era la de un matemático puro, absorbió en sus figuras, y su imagen de genio práctico fue la que interpretó Galileo.

El astrónomo Hiparco de Nicea (190 – 120 a.C.) desarrolló la trigonometría, que es un conjunto de funciones geométricas construidas con los lados y los ángulos de un triángulo rectángulo y que se deducen básicamente del teorema de Pitágoras. Posteriores desarrollos de la trigonometría han permitido a los astrónomos contemporáneos medir con precisión las distancias de los astros.

Con base en esta disciplina, el matemático, astrónomo, geógrafo y director del Museo Eratóstenes (284 – 192 a. C.), realizó una medida asombrosamente precisa del diámetro de la Tierra (39,740 kilómetros), la cual tiene un error de 400 kilómetros y sólo fue mejorada en el siglo XVIII. Tiene el mérito de haber sido

el primer autor en haber aplicado la matemática a la geografía; también dibujó el primer mapamundi basado en el criterio de los meridianos y los paralelos.

Los anatomistas y médicos Herófilo (hacia el 300 a. C.) y Erasístrato (280 a. C.) basaron la anatomía y la fisiología en la disección, que consiste en la preparación de los animales muertos para que conserven la apariencia de cuando estaban vivos. Incluso llegaron a realizar disecciones en malhechores, a pesar del escándalo provocado. Herófilo fue el primero en comprender el funcionamiento de los nervios y el uso clínico del pulso, como síntoma para el diagnóstico. También distinguió entre las funciones de los nervios sensitivos y la de los motores. Por su parte, Erasístrato reconoció la importancia de las circunvoluciones del cerebro humano (es decir, el relieve de la superficie exterior del cerebro, lleno de surcos) e hizo la distinción entre venas y arterias, afirmando que las primeras transportan la sangre, mientras que las segundas transportan el aire. Galeno (130

– 200 a. C.) fue el último de los grandes médicos y se puede decir que es el Aristóteles de la medicina. Esto porque su sistema sólo fue reemplazado hasta el Renacimiento, el cual incorporó una explicación mecanicista del funcionamiento del cuerpo humano. La fisiología galénica se basa en el flujo y reflujo de espíritus y sangre en las arterias y nervios. Además, agrega que el calor corporal se origina en el corazón, mientras que los pulmones actúan como refrigerantes.

2. EL MODELO ASTRONÓMICO DE LA CIENCIA MEDIEVAL

Los esquemas de la física y la astronomía medievales corresponden a planteamientos que imperaron por más de 2000 años y cuya inexactitud se demostró experimentalmente hace unos 1.400 años. En efecto, la concepción del universo que dominó durante toda la Edad Media fue la heredada por Aristóteles y Ptolomeo.

Aristóteles propone la idea de un universo único, no creado, indestructible, finito y esférico. La Tierra es inmóvil en el centro, esférica y pequeña en comparación con las estrellas fijas (las doce Constelaciones o el Zodíaco). Además, en la Tierra se produce la generación y la corrupción, el nacimiento y la muerte, a partir de los cuerpos primarios simples –tierra, fuego, aire y agua–. Esta es la región que abarca desde la Luna hasta la Tierra y que se denomina región *sublunar*. El quinto elemento es el «éter» o «quinta esencia», el cual no padece cambio ni descomposición, está sujeto al movimiento circular eterno y envuelve el resto del cosmos, aunque decrece en pureza en las zonas más bajas (en algunas partes de la Luna). Esta es la región *supralunar*, de naturaleza inmodificable o «incorruptible», que abarca los cuerpos celestes. Más allá de las estrellas, hay «esferas» que giran en direcciones diferentes para llevar a los planetas, el sol y la luna en movimientos circulares¹. El movimiento circular carece de principio y de fin, siendo el más apto para los cuerpos invariables y eternos.

El movimiento del cosmos mediante la teoría de las «esferas concéntricas», fue propuesta por el matemático Eudoxo, mejorada por el astrónomo Calipo, y reelaborada por Aristóteles. Aquí se considera que

¹ La estructura del universo aristotélico puede consultarse en *De caelo* I, caps. 8 – 9, 10 – 12; *Metafísica* 1072a23 y 1074a31 – 38; *Meteoros* 340b6 – 10.

cada planeta, el Sol y la Luna, poseen esferas que giran alrededor de sus ejes; mientras la Tierra permanece fija en el centro. Algunos planetas podían tener hasta cuatro esferas, cada una conectada con la siguiente, originando una diversidad de movimientos.

Las propuestas aristotélicas fueron complementadas por Ptolomeo, un astrónomo de Alejandría del siglo II d. C., quien escribió la obra de astronomía geocéntrica llamada *Almagesto*. Siguiendo a Aristóteles, Ptolomeo parte del principio de la imposibilidad de una Tierra en movimiento, pues al ser ésta tan grande dejaría atrás a todos los cuerpos que caen, flotando en el aire, mientras la Tierra misma, debido a su gran velocidad, ya se hubiese desplazado fuera del universo. La concepción ptolemaica para explicar los movimientos planetarios alrededor de la Tierra se basa en un sistema muy complicado que propone epiciclos, que son pequeñas circunferencias sobre las que giran los astros en el espacio, y los deferentes, que son círculos mucho más grandes.

Durante la Edad Media la cultura vigente, cristiana, asumió como propio el sistema de Ptolomeo, aunque añadiéndole en ocasiones, de manera simplista, aspectos del dogma cristiano. En este sentido, Dios crea la Tierra en el centro del universo y hace al hombre a su imagen y semejanza. Asimismo, en los cielos se halla el paraíso, al cual pueden ir después de la muerte las almas de los bienaventurados, mientras que los infiernos se localizarían en el centro de la Tierra. Por su parte, alrededor de los astros existen esferas de cristal que son movidas por los ángeles y así es como se producen los movimientos circulares.

3. LA CIENCIA DEL RENACIMIENTO

La ciencia moderna no empieza con la explicación de las cosas o fenómenos naturales que acontecen de manera inmediata, próximos al hombre, para luego continuar con las más distantes. Su forma de proceder es a la inversa: los grandes descubrimientos empiezan con la revolución acontecida en la astronomía, para luego descender a lo terrenal, es decir, a la física.

La nueva ciencia del Renacimiento no parte de cero, pues la entrada principal ya había sido cruzada por los antiguos. Esta conexión es descrita por Farrington en los siguientes términos: «Cuando la ciencia moderna comenzó a desarrollarse en el siglo XVI, retomó el estudio allí donde los griegos lo habían dejado. Copérnico, Vesalio y Galileo son los continuadores de Ptolomeo, Galeno y Arquímedes»².

La ciencia renacentista no sólo busca la formulación de teorías, sino que es por principio práctica y experimental. Es más, se basa en una continua relación y confrontación de las hipótesis y teorías con los hechos, en una meticulosa revisión de los datos o resultados obtenidos. Esto lleva a dejar por fuera la discusión, argumentación y especulación, ello es, destierra lo más posible la subjetividad humana en aras de alcanzar la «objetividad» y la «verdad» científica. La nueva eclosión científica postula un universo cuantitativo, abierto

2 Farrington. Ciencia Griega, p. 280.

en extensión a lo indefinido, atómico, secular, desjerarquizado y cuyo conocimiento significa la clave para el dominio del hombre de las fuerzas de la naturaleza. La ciencia antigua en general buscaba el conocimiento por sí mismo y su vinculación con la práctica y la experimentación era tangencial. Algunos ejemplos de ello se pueden apreciar hacia finales del siglo XVII, cuando se amplió considerablemente la experimentación: el matemático y físico Evangelista Torricelli inventó el *barómetro*, ello es, el instrumento para medir la presión atmosférica; el matemático, físico y astrónomo holandés Christiaan Huygens usó el *reloj de péndulo*; el físico y químico británico Robert Boyle, quien enunció la ley de la compresibilidad de los gases, junto al físico alemán Otto von Guericke utilizaron la *bomba de vacío* para estudiar la evaporación de los líquidos. Para crear un vacío se saca el aire de la cámara de vacío mediante una bomba y, a medida que se va extrayendo el aire, se reducen sus moléculas hasta el punto en que empujan cada vez con menor fuerza las paredes de la cámara de vacío, con lo que se reduce la presión en su interior.

Francis Bacon (1561 – 1626) es uno de los grandes filósofos de los nuevos tiempos, el cual propone la purificación de la mente de las nociones falsas (ídolos) y una ciencia enfocada en la experimentación a través del método inductivo (extraer conclusiones de carácter general a partir de un experimento y luego confirmarlo con otros experimentos). Esta nueva perspectiva establece que la naturaleza debe ser «acosada», «esclavizada» y «torturada hasta arrancarle sus secretos». Desde su punto de vista el universo orgánico y las concepciones mágicas deben ser cambiados por un universo máquina.

No se puede dejar de mencionar al filósofo y matemático Renato Descartes (1564 – 1650), quien descubre la geometría analítica, según la cual a toda figura geométrica le corresponde una ecuación, y a toda ecuación una figura geométrica. En este sentido, las líneas rectas, las curvas y las figuras geométricas se representan mediante expresiones algebraicas y numéricas usando un conjunto de ejes y coordenadas. Cualquier punto del plano se puede localizar con respecto a un par de ejes perpendiculares, dando las distancias del punto a cada uno de los ejes. Ello posibilita una interpretación de la naturaleza y de las realidades sensibles mediante la exactitud de las matemáticas. Descartes deja el legado de una metodología científica que se distingue por su claridad, por su carácter deductivo, por su capacidad de análisis a la hora de estudiar las partes que conforman un todo, por una confianza ilimitada en los poderes de la razón humana para desentrañar los secretos y las leyes de un universo mecánico, y para postular una nueva filosofía racionalista centrada en el sujeto que piensa («pienso, luego existo»), dando origen a la filosofía moderna.

Los científicos del siglo XVII fueron conscientes de la ruptura con un pasado consolidado y repetido hasta la saciedad por más de 2000 años, aunque, al mismo tiempo, se apoyaban o retomaban planteamientos esbozados en la Antigüedad. A este respecto Bernal puntualiza:

En un aspecto importante, la revolución científica se distinguió de los cambios anteriores, ya que resultó mucho más fácil de realizar –particularmente en sus comienzos– por la conciencia que se tenía de que se trataba de un retorno a las ideas de una cultura más antigua, de mayor envergadura y más filosófica. La

autoridad de los antiguos pudo ser ventajosamente utilizada por verdaderos innovadores, como Copérnico y Harvey, para apoyar sus tesis en forma no menos importante que por el testimonio de los sentidos. No se trataba tanto de rechazar toda autoridad, como de apoyarse en unas contra las otras. El humanista se encontraba en libertad para escoger y su decisión obedecía a razones intrínsecas. La recuperación de una parte, por lo menos, de los mejores trabajos matemáticos de la Antigüedad clásica –especialmente los de Apolonio y los de Arquímedes– ayudaron a romper el monopolio de Aristóteles. Hasta el propio Platón se convirtió en una fuente de inspiración matemática, más que teológica. En cierto sentido –y, ciertamente, en el mejor de ellos–, la nueva ciencia provino directamente de los antiguos; porque fue siguiendo los métodos de estos últimos cómo los hombres de la nueva era pudieron derrumbar sus ideas y superar sus resultados³.

En el campo de la medicina fue notable la ruptura emprendida por el belga Andrés Vesalio, quien corrigió y modernizó las enseñanzas anatómicas de Galeno, cuyas disecciones se basaban en animales. En cambio, las de Vesalio se basaban en cuerpos humanos y sus descripciones contribuyeron a sentar las bases de la moderna anatomía. También sus teorías llevaron al descubrimiento de la circulación de la sangre, efectuado años más tarde por el inglés William Harvey (1578 – 1657), quien se basó en una explicación mecánica de los movimientos de la sangre en el cuerpo, fundando un nuevo tipo de anatomía y fisiología.

4. LA UNIÓN ENTRE LA CIENCIA Y LA MAGIA

En los siglos XVI y XVII no es adecuado realizar una separación tajante entre ciencia, por un lado, y prácticas mágico–astrológicas, por el otro. Magia, alquimia, medicina, astronomía y astrología se entrelazaban. De la antigüedad y la Edad Media el Renacimiento incorporó ideas procedentes del neoplatonismo, la magia y superstición del medioevo, la práctica de la cábala –que en la tradición medieval de la religión judía consiste en el conocimiento oculto en la naturaleza del mundo divino y sus recónditas conexiones con el universo expresadas a través de un lenguaje simbólico–, y la tradición hermética que busca la salvación del hombre y su divinización en este mundo liberándose de las potencias negativas. También los escritos herméticos consideran que el universo es un ser viviente en que cada parte afecta al resto, de manera que hay un influjo de los diversos seres divinos sobre los sucesos humanos. Los grandes autores de la ciencia moderna como Copérnico, Harvey y Newton se hallan vinculados con la corriente hermética. Puede incluso parecer extraño que este último, aun cuando haya llevado a la ciencia a su máximo desarrollo, fuera al mismo tiempo practicante de la alquimia. Ante este panorama hay que reconocer que muchas teorías de la ciencia moderna se apoyaron en ideas no científicas o, por lo menos, que no se ajustaron a los parámetros actuales de científicidad.

La astrología, cuyos orígenes más remotos se hallan en los caldeos que vivieron en Babilonia hace unos 5000 años, para los hombres del siglo XVI todavía era una ciencia. La astrología se ocupaba de la observación de los diversos planetas y constelaciones con el fin de establecer su influjo positivo o negativo sobre las personas. Ptolomeo fue astrólogo y estuvo convencido de la influencia del cielo sobre todas las cosas que pasan en la Tierra. Ficino cantaba los *Himnos órficos* para ganarse el benéfico influjo de los astros.

3 Bernal. La ciencia en la historia, pp. 363 – 364.

Los horóscopos de Kepler fueron muy apreciados y consultó a las estrellas antes de realizar su segundo matrimonio. También Galileo elaboró horóscopos en la corte de los Medici. Los monarcas usualmente debían contar en sus palacios con la presencia de un astrólogo. Otras prácticas adivinatorias que se unían con la astrología eran la fisiognomía (el estudio del carácter a través de la interpretación del rostro), la quiromancia (la previsión del futuro a través de la lectura de las líneas de la mano) y la metoposcopia (la previsión del futuro a través de la lectura de las arrugas del rostro). La astrología está conectada con la magia: el astrólogo prevé los acontecimientos futuros y, cuando éstos son desfavorables, el mago interviene y los transforma según sus deseos. Aun cuando la magia presenta dificultades a la hora de definirse, puede decirse que es una concepción del mundo en la que existen fuerzas sobrenaturales que la magia, mediante rituales, busca manipularlas. Aquí el universo se lo concibe como un conjunto de correspondencias y simpatías, donde el macrocosmos está interconectado con el microcosmos, haciendo posible la comunicación, con los seres divinos o las fuerzas elementales, mediante encantamientos o hechizos del mago.

La obra antigua que mayor influencia tuvo sobre la magia renacentista fue los *Oráculos caldeos*, cuyo autor Juliano era apodado «el Teúrgo». La «teúrgia» es la evocación e influencia que se ejerce sobre las divinidades. Se trata de una sabiduría y artes mágicas con propósitos místico-religiosos. Proclo (410 – 485), uno de los más importantes exponentes del neoplatonismo, define la teúrgia como «un poder más alto que toda la humana sabiduría, que abraza las bendiciones de la adivinación, los poderes purificadores de la iniciación y, en una palabra, todas las operaciones de la posesión divina». Se distingue de la magia común y profana en que ésta no pretende alcanzar un fin religioso o una revelación por parte de seres sobrenaturales. La teúrgia, al igual que la magia vulgar, se vale de «símbolos» como hierbas, piedras, olores, etc. Además, la teúrgia buscaba la liberación temporal del alma con respecto de lo corporal, a fin de que fuese el «receptáculo» de un dios, un semidiós o *daímon*, o de un ser humano fallecido. Esta rama de la teúrgia antigua presenta, sin duda, semejanza con el espiritismo moderno, en que el individuo es un *médium* en estado de trance. Porfirio, discípulo de Plotino, trató de distinguir este tipo de «posesión», ya fuese cuando se tratase de un dios, un ángel, un arcángel o un alma humana. Su discípulo Jámblico también habla de los médium recomendando para ello a las personas jóvenes y simples, y describe sus alteraciones en la voz. Las obras de Porfirio, Jámblico y Proclo fueron traducidas por Ficino hacia finales del siglo XV, incentivando la práctica de la magia, ya fuera profana o religiosa.

Renombrados exponentes del Renacimiento practicaron la magia. Ficino mismo se proclamó mago y seguidor de la «magia natural», la cual implica la universal animación de las cosas a través del especial elemento, el «espíritu». Esta sustancia sutil se halla presente en todos los cuerpos y es posible predisponerla mediante piedras, metales, hierbas, talismanes y encantamientos musicales, para mejor provecho de los hombres. Los beneficios de la magia natural la ligaron necesariamente con la práctica de la medicina y el propio Ficino no lo consideraba contrario al cristianismo, pues Jesús había sido un sanador. También Copérnico fue médico y ejerció la medicina por medio de los influjos astrales.

Pico de la Mirándola practicó la cábala en sentido mágico, que consiste en entrar en una especie de autohipnosis en la que se evoca a los ángeles a fin de contemplar revelaciones divinas. El alemán Reuchlin (1455 – 1522), quien conoció a Pico en Italia, estableció que con la práctica de la cábala y la fe intensa se pueden realizar obras milagrosas en nombre de Cristo.

Un mago italiano como Fracastoro (1478 – 1553) es considerado el padre de la moderna epidemiología y el primero en denominar a la «sífilis» con ese nombre. Considera que existe una simpatía cósmica mediante la cual se da un influjo recíproco entre las cosas semejantes, y una antipatía cósmica que produce una repugnancia y rechazo entre las cosas diferentes. En el primer caso los flujos de átomos producen un contacto entre las cosas y las diversas infecciones.

En 1545 aparece publicado el libro *Gran arte (Ars magna)*, del matemático, físico, astrólogo y mago italiano Gerolamo Cardano, el cual inicia el período moderno en el álgebra, con la solución de ecuaciones de tercero y cuarto grado, que ya habían sido descubiertas por su rival Tartaglia. Los métodos algebraicos para tratar cualquier problema, con tal de que las cantidades implicadas puedan ser reducidas a números, hizo que los cálculos numéricos se pudieran abordar más fácilmente con los métodos del álgebra. Ello incluso le permitió a Galileo conectar las matemáticas con la mecánica.

Giordano Bruno, nacido en Nola en 1548 y quemado vivo por la Inquisición en 1600, incorporó una filosofía mágico–hermética, con una concepción del universo heliocéntrica y de extensión infinita. Consideró que el mago se proyecta, mediante imágenes mentales arquetípicas, a otras realidades obteniendo conocimiento, memoria y poderes en consonancia con el cosmos.

Tommaso Campanella, nacido en Calabria en 1568, murió en París en 1639, mientras se esforzaba con sus artes mágico–astrológicas en mantener alejada a la muerte. Distinguió tres tipos de magia: 1) *divina*: que es la que Dios concede a los profetas y santos; 2) *natural*: que es un arte práctico que utiliza las propiedades de las cosas naturales para obtener efectos maravillosos e insólitos; y 3) *demoníaca*: que se vale de los espíritus malignos y es condenable.

Uno de los mayores exponentes de la magia fue el médico, filósofo, astrólogo y alquimista Cornelio Agrippa, nacido en Colonia en 1486 y fallecido en Grenoble en 1535, quien consideraba que todas las partes del universo se hallan vinculadas a través del espíritu que anima al universo en su totalidad. El hombre se halla situado en medio de tres mundos o realidades: el de los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego), el mundo celestial y el mundo inteligible. El mago actúa sobre las potencias ocultas que accionan el universo y su conocimiento se relaciona con esos tres mundos. Agrippa distingue tres tipos de magia: 1) *magia natural*: la cual es el conocimiento de las fuerzas ocultas que animan a los cuerpos materiales, con el fin de llevar a cabo resultados prodigiosos; 2) *magia celestial*: la cual es un conocimiento y control de los influjos provocados por los astros; y 3) *magia religiosa o ceremonial*: la cual se propone ahuyentar a las fuerzas demoníacas. Tanto la magia natural como la magia celestial reciben el nombre de «magia blanca», mientras que la magia

religiosa se la denomina «magia negra» o «magia nigromántica». Para Agrippa la actividad mágica suscita en el hombre una dignificación, pues se separa de los sentidos físicos y se eleva a través de una iluminación hasta las virtudes divinas capaces de conocer las obras secretas. Se trata de que el mago obtiene una revelación al elevarse hasta realidades elementales y divinas, cuya sabiduría debe mantener en secreto.

El mago, médico y alquimista suizo más famoso durante el Renacimiento fue Theophrastus Bombastus von Hohenheim, conocido como Paracelso (1493 – 1541). La alquimia, un precedente fundamental de la química que pretendió descubrir una sustancia que transmutaría los metales más comunes en oro y plata. A su vez, intentó encontrar medios para prolongar y dotar de salud indefinida a la vida humana. Paracelso quiso elaborar la «piedra filosofal», que consistía en el elixir de la eterna juventud. Quizás su mayor contribución es la propuesta del cuerpo humano como un sistema químico. Su idea es que la armonía en el cuerpo de los principios químicos es lo que genera la salud, y su desequilibrio la enfermedad. Los principios que estableció fueron el mercurio, el azufre y la sal, eliminando la teoría de Galeno de los cuatro humores (sangre, flemas, bilis negra y amarilla). La salud debe obtenerse mediante fármacos de origen mineral y no de naturaleza orgánica. Asimismo, las enfermedades son procesos específicos y los remedios también deben ser específicos para cada enfermedad, eliminándose los remedios que se suponen buenos para todas las enfermedades.

5. LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

Nicolás Copérnico nació en Polonia en 1473. Ingresó en la Universidad de Cracovia en 1491, donde aprendió geometría, trigonometría y los fundamentos teóricos de la astronomía. Poco tiempo después se trasladó a Italia para estudiar derecho y medicina. En 1497 comenzó a estudiar derecho canónico en la Universidad de Bolonia, hospedándose en casa de un profesor de matemáticas llamado Domenico Maria de Novara, que influiría en sus inquietudes. Juntos observaron el 9 de marzo de 1497 la ocultación (eclipse a causa de la Luna) de la estrella Aldebarán en la constelación de Tauro, suscitando en Copérnico la necesidad de observar los cielos de acuerdo con un nuevo sistema astronómico.

En 1500 Copérnico se doctoró en astronomía en Roma. Al año siguiente obtuvo permiso para estudiar medicina en Padua. Sin embargo, sin haber terminado sus estudios de medicina, se licenció en derecho canónico en la Universidad de Ferrara en 1503 y regresó a Polonia, ejerciendo como médico y secretario de su tío en Lidzbark Warminski. Allí laboró entre los años 1503 y 1510, y además se hizo cargo de la administración de la diócesis y las actividades contra los caballeros de la Orden Teutónica, que amenazaban la ciudad de Olsztyn. En 1512 Copérnico se trasladó a Frauenburgo y formó parte de la comisión del quinto Concilio Laterano para la reforma del calendario, lo cual implicaba la necesidad de reformular la concepción astronómica imperante. Fue en ese momento en que empezó a trabajar en su obra *Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes (De revolutionibus orbium caelestium)*, que acabó en 1530 y que fue publicada en 1543, poco antes de su muerte.

Esta obra conmocionaría la astronomía al establecer la teoría heliocéntrica. En este sistema la Tierra gira sobre su propio eje alrededor de un Sol fijo, el cual constituye el centro del universo. Sin embargo,

Copérnico no logró superar la teoría de las órbitas circulares de los planetas procedente de Aristóteles y Ptolomeo, ya que en su sistema alrededor del Sol giran, describiendo círculos perfectos, los seis planetas conocidos: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. La posición de Copérnico iba en contra del sentido común y, como hombre del Renacimiento, tuvo la decisión de romper abruptamente con el pasado. La idea de un universo mucho más extenso, pero no infinito, y en el que la Tierra es un pequeño planeta en movimiento, que ni siquiera ocupa un punto central, destrozaba la imagen del universo antiguo y medieval.

Se debe destacar que la ruptura de Copérnico con una tradición geocéntrica de 2000 años tuvo una gran influencia de la filosofía platónica y neoplatónica, la cual aprendió durante su estancia en Bolonia en medio del auge del humanismo. Aquí las matemáticas son la clave para la comprensión del universo, pues su virtud reside en extraer el verdadero ser de las cosas, más allá de las apariencias. También incorporó el culto solar de los neoplatónicos y herméticos, en el que Dios es identificado simbólicamente con el sol y la luz suprema. Sin embargo, resulta innegable que Copérnico realizó sus propias observaciones y cálculos astronómicos para elaborar su teoría.

La revolución o giro astronómico suscitado significó también una revolución en cuanto al puesto del hombre en el cosmos, pues su morada terrestre es a partir de entonces solo un planeta entre un sinnúmero de estrellas y no el centro astronómico del universo, ni tampoco un lugar cósmicamente privilegiado. Este nuevo paradigma copernicano desborona la cultura medieval, a raíz de las graves disputas que posteriormente ocasionaría en el ámbito religioso y filosófico. Aunque en la actualidad Copérnico esté superado, la ciencia actual nunca hubiera existido sin esa primera ignición. Copérnico no tuvo ninguna dificultad por esta obra.

6. GALILEO: PADRE DE LA CIENCIA MODERNA

Galileo Galilei nació cerca de Pisa, el 15 de febrero de 1564. Su padre, Vincenzo Galilei, ocupó un lugar destacado en la revolución musical del Renacimiento con la modulación armónica. Galileo en 1581 ingresó en la Universidad de Pisa para estudiar medicina, pero al poco tiempo cambió sus estudios por la filosofía y las matemáticas, abandonando la Universidad en 1585 sin haber llegado a obtener el título. En 1589 trabajó como profesor de matemáticas en Pisa, donde se dice que demostró ante sus alumnos el error de Aristóteles, que afirmaba que la velocidad de caída de los cuerpos era proporcional a su peso, dejando caer desde la torre inclinada de esta ciudad dos objetos de pesos diferentes. Su significado es que todos los cuerpos caen a una misma velocidad, que acelera a una media de 9.8 m/s^2 , con independencia de su peso, siempre y cuando se encuentren en el vacío libres de cualquier tipo de presión. Esto contradujo una de las teorías de Aristóteles, aceptada por más de 2000 años, de que la velocidad de caída de los cuerpos era proporcional a su peso: un objeto dos veces más pesado que otro caería, por consiguiente, dos veces más rápido.

En 1592 fue admitido en la cátedra de matemáticas de la Universidad de Padua, donde permaneció hasta 1610. En 1595 ya se había adherido a la teoría heliocéntrica de Copérnico, desechando el modelo de Aristóteles y Ptolomeo en el que los planetas giraban alrededor de una Tierra estacionaria. Solamente la

concepción de Copérnico apoyaba la teoría de las mareas de Galileo, que se basaba en el movimiento de la Tierra. En 1609 se enteró de que en los Países Bajos habían inventado un telescopio y unos meses más tarde lo presentó ante el duque de Venecia. Esto valió para que se aplicara a operaciones navales y marítimas, haciéndole aumentar a Galileo sus ingresos y la concesión del cargo de profesor vitalicio.

En 1609 Galileo había construido un telescopio veinte veces más potente, con el que descubrió montañas y cráteres en la Luna. También observó que la Vía Láctea estaba compuesta por estrellas, diseminadas en grupos y descubrió los cuatro satélites mayores de Júpiter. En 1610 publicó estos descubrimientos en el libro *El mensajero de los astros*. Su creciente popularidad lo hizo ascender como matemático de la corte de Florencia, donde se dedicó por completo a investigar y escribir. En 1610 observó las fases de Venus, que contradecían la astronomía de Ptolomeo y confirmaban su aceptación de las teorías de Copérnico. Es más, se demostraba que los planetas eran semejantes a la Tierra y no hechos de éter. También que el universo era mucho más extenso, pues aparte de las «estrellas fijas», visibles a simple vista, existían innumerables estrellas, jamás vistas antes.

A Galileo se le puede considerar el padre de la «nueva ciencia». También se lo puede valorar como el Arquímedes del Renacimiento, al perfeccionar su metodología científica incorporando en ella las matemáticas y la experimentación. A los métodos antiguos de inducción y deducción, añadió la verificación sistemática a través de experimentos planificados, en los que empleó instrumentos científicos como el telescopio. Además, se le debe el descubrimiento del principio del péndulo y el consiguiente perfeccionamiento del mecanismo empleado en los relojes. Galileo estableció, también, otros descubrimientos como la parábola que describe todo proyectil; el movimiento natural que sigue todo cuerpo es la línea recta, siempre que se halle libre de cualquier fuerza exterior (inercia); y las bases de la cinética y la dinámica. Finalmente, su importancia no estriba tanto en haber defendido el heliocentrismo copernicano, sino sobre todo en haber planteado una estructura matemática y matematizable de la naturaleza, esto es, la idea de formular leyes en términos matemáticos, mediante fórmulas simbólicas o algebraicas, para explicar la realidad. Galileo interpretó que «el gran libro de la naturaleza está escrito en caracteres matemáticos que hay que leer». Cabe recordar que anteriormente, en el siglo VI a. C., los pitagóricos habían expresado la idea de que todo el universo sensible podía explicarse en términos matemáticos: los números constituyen la esencia de las cosas. Con Galileo esta propuesta empieza a cristalizar en la práctica.

Los profesores de filosofía se burlaron de los descubrimientos de Galileo, dado que Aristóteles había afirmado que en el cielo sólo podía haber cuerpos perfectamente esféricos y que no era posible que apareciera nada nuevo. También discrepaba Galileo de los profesores de Florencia y Pisa sobre la hidrostática, y en 1612 publicó un libro sobre cuerpos en flotación. Como respuesta, inmediatamente aparecieron cuatro publicaciones que atacaban a Galileo y rechazaban su física. En 1613 escribió un tratado sobre las manchas solares y anticipó la supremacía de la teoría de Copérnico. En su ausencia, un profesor de Pisa le dijo a la familia de los Médici (que gobernaban Florencia y mantenían a Galileo) que la creencia de que la Tierra se movía constituía

una herejía. En 1614, un cura florentino denunció desde el púlpito a Galileo y a sus seguidores. Éste escribió entonces una extensa carta abierta sobre la irrelevancia de los pasajes bíblicos en los razonamientos científicos, sosteniendo que la interpretación de la Biblia debería ir adaptándose a los nuevos conocimientos y que ninguna posición científica debería convertirse en artículo de fe de la Iglesia católica.

A principios de 1616, los libros de Copérnico fueron censurados por un edicto, y el cardenal jesuita Roberto Belarmino dio instrucciones a Galileo para que no defendiera el concepto de que la Tierra se movía. El cardenal Belarmino le había avisado previamente de que sólo tuviera en cuenta sus ideas como hipótesis de trabajo e investigación, sin tomar literalmente los conceptos de Copérnico como verdades y sin tratar de aproximarlos a lo escrito en la Biblia. Galileo guardó silencio sobre el tema durante algunos años y se dedicó a investigar un método para determinar la latitud y longitud en el mar basándose en sus predicciones sobre las posiciones de los satélites de Júpiter, así como a resumir sus primeros trabajos sobre la caída de los cuerpos y a exponer sus puntos de vista sobre el razonamiento científico en una obra sobre los cometas, *El ensayador* (1623).

En 1624 Galileo empezó a escribir un libro que quiso titular *Diálogo sobre las mareas*, en el que abordaba las hipótesis de Tolomeo y Copérnico respecto a este fenómeno. En 1630 el libro obtuvo la licencia de los censores de la Iglesia católica de Roma, pero le cambiaron el título por *Diálogo sobre los sistemas máximos*, publicado en Florencia en 1632. A pesar de haber obtenido dos licencias oficiales, Galileo fue llamado a Roma por la Inquisición a fin de procesarle bajo la acusación de «sospecha grave de herejía». Este cargo se basaba en un informe según el cual se le había prohibido en 1616 hablar o escribir sobre el sistema de Copérnico. El cardenal Belarmino había muerto, pero Galileo facilitó un certificado con la firma del cardenal, según el cual no sufriría en el futuro ninguna otra restricción que no fueran las que para todo católico romano contenía un edicto de 1616. Este escrito no pudo ser rebatido por ningún documento, pero Galileo fue obligado a abjurar en 1633 y se le condenó a prisión perpetua (condena que le fue conmutada por arresto domiciliario). Los ejemplares del *Diálogo* fueron quemados y la sentencia fue leída públicamente en todas las universidades.

Más allá de la ciencia, ha quedado el papel de Galileo como defensor de la investigación científica sin interferencias filosóficas y teológicas. Se ha querido encubrir en este asunto la responsabilidad de los profesores de filosofía, que fueron los que persuadieron a los teólogos de que los descubrimientos de Galileo eran heréticos. Juan Pablo II abrió en 1979 una investigación sobre la condena eclesiástica del astrónomo para su posible revisión. En octubre de 1992, una comisión papal reconoció el error cometido.

La última obra de Galileo se llama *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos ciencias nuevas relacionadas con la mecánica*, publicada en Leiden en 1638, revisa y afina sus primeros estudios sobre el movimiento y los principios de la mecánica en general. Este tratado allanó el camino para que Newton formulara la ley de la gravitación universal que, a su vez, armoniza las leyes de Kepler sobre los movimientos planetarios con las matemáticas y la física de Galileo.

La contribución más importante de Galileo a la ciencia fue su descubrimiento de la física de las mediciones precisas, más que los principios metafísicos y la lógica formal. Sus obras de mayor influencia fueron *El mensajero de los astros* y *el Diálogo*, que incrementaron el desarrollo de la astronomía.

El juicio de Galileo en el que fue obligado a abjurar, a decir que «la Tierra no se mueve», dramatizó la falta de definición de esferas de acción propias de la filosofía, la ciencia y la verdad religiosa, cuyo objeto de esta última es una enseñanza sobre la humana salvación. Todo este acontecimiento propagó en los sectores cultos un prestigio inusitado por la nueva ciencia revolucionaria y el interés por que la ciencia se independizara de la filosofía y de las creencias religiosas, que no debían tomar como propia la antigua cosmología, que iría siendo superada por nuevos descubrimientos, en especial con los de Kepler y Newton.

Con ocasión del conflicto de Galileo, va a ir quedando en claro, poco a poco, que la ciencia y la religión tienen objeto formal diferente: las proposiciones científicas siguen las reglas del método experimental y su objeto es indagar el funcionamiento de la naturaleza, sin ir más allá. El objeto de las enseñanzas derivadas de las sagradas Escrituras es manifestar el plan salvífico de Dios para el hombre. Mientras la ciencia explica «cómo va el cielo», desde el punto de vista astronómico, la fe establece «cómo se va al cielo», morada del Padre. La ciencia es autónoma al basarse en experiencias y demostraciones. La Biblia no tiene por objeto enseñar la explicación de cuestiones físicas o astronómicas, sino mostrar al hombre el plan de Dios. Por tanto, el conocimiento científico ocupa una esfera de actividad diferente de la verdad revelada.

Otra herencia que Galileo le deja a la ciencia es que ésta debe ser una descripción de la realidad a partir de las «cualidades primarias» o «cualidades objetivas», que son cuantitativas y mensurables, como el peso, la masa, la velocidad, etc., y no de las «cualidades secundarias» o «cualidades subjetivas», como los colores, los olores, los sabores, etc. En esta dirección, la ciencia trata de ser objetiva y de describir la realidad. Sin embargo, la ciencia corre el peligro de caer en el dogmatismo denominado «cientificismo», en el que el saber matemático y su aplicación a la naturaleza pretenden ser tenidos como un conocimiento definitivo y descriptor de la verdad misma, con lo que invade la esfera de la filosofía. La historia de la ciencia se ha ido encargando de mostrar que no suele haber, en general, verdades últimas en la ciencia: periódicamente hay avances y correcciones y nuevas hipótesis.

7. BRAHE Y SU AGUDA CAPACIDAD DE OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA

Al gran astrónomo danés Tycho Brahe (1546 – 1601) se le deben la confección de una tablas astronómicas, con meticulosas descripciones de los movimientos planetarios, y un catálogo donde registró 777 estrellas. Fue el hombre que acumuló más datos y mediciones a simple vista hasta la invención del telescopio, a principios del siglo XVII.

Su descubrimiento de una supernova en 1572 en la constelación de Casiopea, es decir, del inmenso despliegue de luz de una estrella al morir, condujo a replantear la idea de la incorruptibilidad e invariabilidad de los astros formados por éter. También la observación de un cometa en 1577, lo llevó a negar la existencia de la teoría medieval de las esferas cristalinas materiales que mueven los cuerpos celestes, al ser el espacio fluido y libre para los desplazamientos en todas direcciones.

8. KEPLER Y LAS LEYES DEL MOVIMIENTO PLANETARIO

Kepler nació en 1571 en Weil, cerca de Stuttgart, y murió en 1630. Hacia 1588 estudió teología en la Universidad de Tubinga. Por influencia de su profesor de matemáticas, Michael Maestlin, aceptó la teoría heliocéntrica de Copérnico, que le pareció de mayor simplicidad para el ordenamiento divino que el sistema geocéntrico. Después se trasladó a Graz, en Austria, donde elaboró una hipótesis geométrica compleja para explicar las distancias entre las órbitas planetarias. Más tarde dedujo que las órbitas de los planetas son elípticas, donde el Sol ejerce una fuerza que disminuye de forma inversamente proporcional a la distancia e impulsa a los planetas alrededor de sus órbitas. Estas teorías las publicó en la obra *Mysterium Cosmographicum* en 1596.

En esa obra se reflejan elementos de misticismo filosófico, matemáticas, astronomía y física. Además, Kepler se hace sentir como un neopitagórico o neoplatónico, donde las matemáticas y las armonías musicales son la clave para descubrir los secretos del universo. Ya de Copérnico había incorporado el rol central atribuido al Sol, como parte del ambiente neoplatónico renacentista. Además del *Timeo* de Platón, toma la idea de las cinco figuras geométricas que conforman las esferas que rodean los planetas:

Saturno
cubo
Júpiter
tetraedro
Marte
dodecaedro
Tierra
icosaedro
Venus
octaedro
Mercurio

Esta teoría de Kepler, basada en la concepción pitagórica–platónica, implica una consideración matemática y armónica del creador del universo, que realizó su obra con simplicidad y belleza. Esta posición filosófica era la que mejor se oponía a la de Aristóteles y Ptolomeo.

Kepler fue profesor de astronomía y matemáticas en la Universidad de Graz desde 1594 hasta 1600, cuando se convirtió en ayudante de Tycho Brahe, en su observatorio de Praga. Luego de la muerte de Brahe en 1601, Kepler asumió el puesto de matemático y astrónomo de la corte del emperador Rodolfo II. Una de sus obras más importantes durante este periodo fue *Astronomia nova*, de 1609, que trata sobre sus cálculos en torno a la órbita de Marte. Este libro contiene la exposición de dos de sus primeras leyes sobre el movimiento planetario.

La primera ley consiste en que los planetas giran en órbitas elípticas con el Sol en un foco, lo que invalida por completo la antigua idea de las órbitas circulares, de la que participó Galileo.

La segunda, o regla del área, afirma que una línea imaginaria desde el Sol a un planeta recorre áreas iguales de una elipse durante intervalos iguales de tiempo. En otras palabras, un planeta girará con mayor velocidad cuanto más cerca se encuentre del Sol.

En 1619 Kepler publicó el tratado *Armonías del mundo*, donde expone otro descubrimiento sobre el movimiento planetario (tercera ley): la relación del cubo de la distancia media (o promedio) de un planeta al Sol y el cuadrado del periodo de revolución del planeta es una constante y es la misma para todos los planetas.

Kepler perfecciona el sistema copernicano, incorporando en sus teorías las leyes de los movimientos planetarios de la Luna y de cuatro de los satélites de Júpiter. Puede concluirse que Kepler otorga la explicación científico-matemática para operar un giro copernicano en el interior del copernicanismo. Sus teorías y observaciones fueron fundamentales para que Newton estableciera su ley de la gravitación universal. Sin embargo, en Kepler el porqué de los movimientos planetarios tiene una explicación filosófica: éstos recorren órbitas impulsados por los rayos provenientes del Sol, cuya fuerza o emanación denomina *anima motrix*. El Sol es la causa de los movimientos planetarios, al ser el cuerpo más hermoso de los que iluminan el cosmos. Kepler no tuvo, al igual que Copérnico, ningún problema similar al de Galileo.

9. NEWTON COMO CULMINACIÓN DE LA CIENCIA MODERNA

El físico, astrónomo y matemático inglés Isaac Newton es quien lleva la ciencia moderna a su máximo desarrollo. Nació en Lincolnshire en 1642. Posteriormente realizó estudios en 1661 en el *Trinity College* de Cambridge, donde llegó a dominar con gran profundidad la matemática de la época. Más tarde fue inventor del cálculo infinitesimal, al mismo tiempo que Leibniz, y descubrió la descomposición espectral de la luz blanca y elaboró la teoría de la luz, llamada de la emisión. También construyó un telescopio reflector de gran alcance.

Hacia 1686 y 1687, animado por el astrónomo Halley, envía para su publicación a la Royal Society el libro *Principios matemáticos de la filosofía natural* (*Philosophiae naturalis principia mathematica*), que constituye una de las obras más importantes de toda la historia de la ciencia. Usualmente a esta obra se la

menciona como *Principia*. «En esta obra se encuentra –como explica Cohen– la culminación de milenios de esfuerzos para comprender el sistema del mundo, los principios de fuerza y movimiento, y la física de los cuerpos que se mueven en distintos medios»⁴.

En uno de sus últimos libros que se intitula *Óptica*, aparecida en 1704, demuestra la teoría de la descomposición de la luz blanca, la cual es la suma de todos los colores visibles de que se compone el espectro que va del rojo al violeta. Muere en Kensington en 1727, a cuyo funeral asistió Voltaire, quien difundió sus ideas en Francia.

La expresión «filosofía natural» abarca ramas como la física, la astronomía y las matemáticas, pretendiendo desentrañar los mecanismos que rigen la naturaleza y el sistema solar. La filosofía era vista entonces como un único saber. No es sino en los siglos XVIII y XIX cuando surge la distinción entre filosofía y ciencia.

El planteamiento de la obra *Principia* consiste en un conjunto de axiomas sobre mecánica y leyes que explican el movimiento de los cuerpos. El universo es una gran máquina, semejante a un reloj, compuesta por un número infinito de partículas o corpúsculos, los cuales están gobernados por las leyes del movimiento y por la de la gravitación universal.

La primera ley es la de la inercia, ya conocida por Galileo, que propone que un cuerpo no sometido a fuerzas permanece en su estado de movimiento o reposo.

La segunda es la *ley de la dinámica*, la cual establece la proporcionalidad entre las fuerzas ejercidas sobre un cuerpo y las aceleraciones resultantes, es decir, la ecuación fundamental: fuerza = masa x aceleración.

La tercera, o *ley de la acción y reacción*, parte de que, si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce sobre el primero una fuerza de la misma intensidad y sentido opuesto.

La famosísima *ley de la atracción o gravitación universal* es una generalización de forma matemática de los fenómenos naturales tales como la caída de los cuerpos, las mareas, los movimientos planetarios, etc. La fuerza de gravitación con que dos cuerpos se atraen es directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Esta ley puede enunciarse bajo la fórmula:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{D^2}$$

4 Cohen. El nacimiento de una nueva física, p. 175.

Si se afirma que la gravedad es igual a la masa entre la distancia al cuadrado, quiere decir que todos los cuerpos en el universo se atraen a partir de una fuerza central y, como la Tierra es un cuerpo tan grande, todos los demás cuerpos que están sobre ella se mantienen aferrados debido a su atracción, a pesar de que el planeta se desplaza en sus diversos movimientos por el espacio. Dentro de la expresión simbólica de la fórmula, F es la fuerza de atracción, m_1 y m_2 son las dos masas, D es la distancia que separa las dos masas y G es una constante aplicable tanto a los planetas como a los cuerpos pequeños.

Estas leyes, sobre el funcionamiento del universo en forma de ecuaciones matemáticas, permiten prever y determinar los fenómenos físicos. Así, el comportamiento de los fenómenos físicos en su estado futuro es posible predecirlo. Esta novedosa capacidad de predicción de la ciencia newtoniana hizo creer que le había arrancado los secretos mismos al universo haciéndolos accesibles al entendimiento humano. Esta sobreestimación de la ciencia newtoniana es ilustrada elocuentemente por el poeta Alexander Pope: «La naturaleza y las leyes de la naturaleza estaban escondidas en la noche. Dios dijo: ¡que sea Newton! Y se hizo la luz».

Las leyes del movimiento newtoniano rompen con la confianza humana en el sentido común y con la concepción estática del universo de los antiguos, introduciendo una concepción dinámica y valorando el papel de la práctica en el quehacer científico. Además, rompe por completo con la división antigua y medieval de dos físicas distintas, una terrestre y otra celeste, presentando una física común para el universo entero.

Las repercusiones de los planteamientos de Newton son enormes, pues se asumió como el modelo de ciencia a seguir, y de hecho el filósofo alemán Kant lo utilizó como el fundamento epistemológico de la *Crítica de la razón pura*. Voltaire introdujo las ideas de Newton en Francia, que fueron vitales para el movimiento de la Ilustración del siglo XVIII.

La metodología científica newtoniana ha sido la base no sólo de las ciencias naturales, sino también de las ciencias sociales. Además, sus teorías incidieron para que la búsqueda de la verdad y el conocimiento en las ciencias no se asentara sobre la base de la autoridad o la tradición religiosa, sino sobre demostraciones teórico-empíricas. Este cambio de mentalidad incidió decisivamente para la delimitación general de las esferas de actividad propias de la religión, de la filosofía y de la ciencia, lo mismo que para el desarrollo de la revolución industrial unas décadas más tarde.

10. CONCLUSIÓN

La ciencia del Renacimiento no fue pura imitación de la cultura clásica, sino un distanciamiento con respecto a la astronomía y a varios aspectos de la física de Aristóteles y Ptolomeo, o a la medicina de Galeno. Las ciencias naturales renacentistas se alimentaron de la filosofía de los humanistas, quienes pretendían liberarse de todo vínculo con la tradición y la autoridad, sentando así las bases para que los grandes científicos se dieran cuenta de que las teorías científicas antiguas y, sobre todo las medievales, eran el resultado de

construcciones mentales humanas, con sus limitaciones y circunscritas a una determinada época histórica, y de ninguna manera extracciones del libro de la verdad.

También la nueva ciencia se originó a partir del hecho de retomar importantes hallazgos y teorías de autores griegos antiguos, desde una mentalidad mucho más práctica. Así puede verse cómo Copérnico retoma la tradición neoplatónica y hermética; Kepler se considera un neoplatónico y neopitagórico; Galileo, por su parte, alaba a Arquímedes, a quien denomina «sobrehumano»; mientras que Newton no está ajeno al pensamiento hermético. Tampoco pueden dejar de apreciarse un conjunto de elementos de magia y astrología que fueron coexistentes dentro de las investigaciones de los grandes exponentes de la ciencia moderna y a los que en la actualidad no se les suele prestar suficiente interés.

En un período de unos 150 años, que van de Copérnico a Newton, se opera una revolución como nunca antes la había conocido la ciencia, emergiendo así la llamada «física clásica». De Copérnico quedó la idea de una Tierra en movimiento alrededor del Sol como elemento central del sistema solar, significando la eliminación del sistema cosmológico geocéntrico. Al descubrirse que la Tierra no ocupa el centro del universo, también el hombre quedó desplazado de ese centro. Kepler perfecciona la revolución copernicana al explicar mediante leyes matemáticas los movimientos planetarios. Con Galileo se planteó una polémica religiosa con respecto a la ciencia, por no saber separar dos esferas de conocimiento con objeto formal diferente. La «nueva ciencia», a la que dio origen su sistema, significó uno de los factores importantes del cambio del mundo medieval a los «tiempos modernos». Con Newton culmina la explicación a innumerables interrogantes en torno a la dinámica del universo que habían interesado al hombre por miles de años y se consolida, en muchos aspectos, el modelo de ciencia que ha prevalecido hasta nuestros días.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, J. *La ciencia en la historia*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1972.
- Bixby, W. *El universo de Galileo y Newton*. Barcelona: Editorial Timun Mas, 1966.
- Boorstin, D. *Los Descubridores*. México: Grijalbo, 1988.
- Bruno, G. *Sobre el infinito universo y los mundos*. Barcelona: Orbis, 1984.
- Burt. *La fundamentación metafísica de la ciencia moderna*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1960.
- Capra. *El punto crucial. Ciencia, sociedad y cultura naciente*. Buenos Aires: Editorial Troquel, 1982.
- Cohen, I. B. *El nacimiento de una nueva física*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1961.
- Cohen, I. B. *Revolución newtoniana y las transformaciones de ideas científicas*. Madrid: Alianza Editorial, 1983.

- Copérnico, N. *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*. Madrid: Editora Nacional, 1982.
- Copérnico, N. *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*. Madrid: Alianza Editorial, 1986.
- Crombie. *Historia de la Ciencia*, 2 vols. Madrid: Alianza Editorial, 1974.
- Daxelmüller, C. *Historia social de la magia*. Barcelona: Herder, 1997.
- Dóriga, E. L. *El universo de Newton y de Einstein*. Barcelona: Herder, 1985.
- Drake, S. *Galileo*. Madrid: Alianza Editorial, 1983.
- Farrington. *Ciencia Griega*. Barcelona: Icaria Editorial, 1979.
- Fischer, K. *Galileo Galilei*. Barcelona: Herder, 1986.
- Galilei, Galileo. *Diálogo sobre los sistemas máximos*. Jornada 3. Buenos Aires: Editorial Aguilar, 1977.
- Galilei, Galileo. *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Madrid: Editora Nacional, 1981.
- Galilei, Galileo y Kepler, Johannes. *El mensaje y el mensajero sideral*. Madrid: Alianza Editorial, 1990.
- Geymonat, L. *Filosofía y filosofía de la ciencia*. Barcelona: Labor, 1965.
- Kearney, H. *Orígenes de la ciencia moderna, 1500 – 1700*. Madrid: Guadarrama, 1970.
- Kepler. *El secreto del universo*. Madrid: Alianza Editorial, 1992.
- Koyré, A. *Estudios galileanos*. Madrid: Editorial Siglo XXI, 1980.
- Kuhn, T. S. *La revolución copernicana*. Barcelona: Ariel, 1981.
- Lombardo Radice, L. *Las matemáticas de Pitágoras a Newton*. Barcelona: Laia, 1983.
- Mason, S. F. *Historia de las ciencias*. Barcelona: Zeus, 1966.
- Muñoz, P. *Fe e inteligencia en la génesis de la ciencia moderna*. Roma: Università Gregoriana, 1965.
- Newton, I. *El sistema del mundo*. Madrid: Alianza Editorial, 1983.
- Newton, I. *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Editora Nacional, 1982.
- Papp, D. *Historia de la Física. Desde la antigüedad hasta los umbrales del siglo XX*. Madrid: Espasa– Calpe, 1961.
- Reale, G., y Antiseri, D. *Historia del pensamiento filosófico y científico*, vol. II. *Del humanismo a Kant*. Barcelona: Herder, 2001.
- Redondi, P. *Galileo herético*. Madrid: Alianza Editorial, 1990.
- Weister, C. *De Paracelso a Newton: la magia en la creación de la ciencia moderna*. México: Fondo de Cultura Económica, 1988.