

II.- LA REVOLUCION CIENTIFICA

En 1663, Galileo recibió una segunda amonestación, esta vez ante el Tribunal del Santo Oficio. Acusado de herejía por copernicano, hubo de retractarse públicamente, aunque susurrara, según cuentan, el entonces blasfemo eppúre, si muove, (y sin embargo, se mueve), referido a la Tierra. El Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, publicado en 1632, fue incluido en el Índice en 1633, y en él permaneció hasta 1835. Pero hubieron de pasar 350 años del proceso para que un Papa, Juan Pablo II, se manifestara públicamente (9-5-1983) sobre la reparación que la Iglesia debía al pisano.

•



Galileo Galilei (Pisa, actual Italia, 1564–Arcetri, id., 1642) Físico y astrónomo italiano. Fue el primogénito del florentino Vincenzo Galilei, músico por vocación aunque obligado a dedicarse al comercio para sobrevivir. En 1574 la familia se trasladó a Florencia, y Galileo fue enviado un tiempo –quizá como novicio– al monasterio de Santa Maria di Vallombrosa, hasta que, en 1581, su padre le matriculó como estudiante de Medicina en la Universidad de Pisa.

Pero en 1585, tras haberse iniciado en las Matemáticas fuera de las aulas, abandonó los estudios universitarios sin obtener ningún título, aunque sí había adquirido afición por la Filosofía y la Literatura. En 1589 consiguió una plaza, mal remunerada, en el Estudio de Pisa. Allí escribió un texto sobre el movimiento, que mantuvo inédito, en el cual criticaba los puntos de vista de Aristóteles acerca de la caída libre de los graves y el movimiento de los proyectiles. Una tradición apócrifa, pero muy divulgada, le atribuye haber ilustrado sus críticas con una serie de experimentos públicos realizados desde lo alto del Campanile de Pisa. En 1592 pasó a ocupar una cátedra de Matemáticas en Padua e inició un fructífero período de su vida científica: se ocupó de arquitectura militar y de topografía, realizó diversas invenciones mecánicas, reemprendió sus estudios sobre el movimiento y descubrió el isocronismo del péndulo. En 1599 se unió a la joven veneciana Marina Gamba, de quien se separó en 1610 tras haber tenido con ella dos hijas y un hijo.

En julio de 1609 visitó Venecia y tuvo noticia de la fabricación del anteojo, a cuyo perfeccionamiento se dedicó, y con el cual realizó las primeras observaciones de la Luna; descubrió también cuatro satélites de Júpiter y observó las fases de Venus, fenómeno que sólo podía explicarse si se aceptaba la hipótesis heliocéntrica de Copérnico. Galileo publicó sus descubrimientos en un breve texto, El mensajero sideral, que le dio fama en toda Europa y le valió la concesión de una cátedra honoraria en Pisa. En 1611 viajó a Roma, donde el príncipe Federico Cesi le hizo primer miembro de la Accademia dei Lincei, fundada por él, y luego

patrocinó la publicación (1612) de las observaciones de Galileo sobre las manchas solares.

Pero la profesión de copernicanismo contenida en el texto provocó una denuncia ante el Santo Oficio; en 1616, tras la inclusión en el Índice de libros prohibidos de la obra de Copérnico, Galileo fue advertido de que no debía exponer públicamente las tesis condenadas. Su silencio no se rompió hasta que, en 1623, alentado a raíz de la elección del nuevo papa Urbano VIII, publicó *El ensayador*, donde expuso sus criterios metodológicos y, en particular, su concepción de las Matemáticas como lenguaje de la Naturaleza. La benévola acogida del libro por parte del pontífice le animó a completar la gran obra con la que pretendía poner punto final a la controversia sobre los sistemas astronómicos, y en 1632 apareció, finalmente, su *Diálogo* sobre los dos máximos sistemas del mundo; la crítica a la distinción aristotélica entre Física terrestre y Física celeste, la enunciación del principio de la relatividad del movimiento, así como el argumento del flujo y el reflujo del mar presentado (erróneamente) como prueba del movimiento de la Tierra, hicieron del texto un verdadero manifiesto copernicano.

El Santo Oficio abrió un proceso a Galileo que terminó con su condena a prisión perpetua, pena suavizada al permitírsele que la cumpliera en su villa de Arcetri. Allí transcurrieron los últimos años de su vida, ensombrecidos por la muerte de su hija Virginia, por la ceguera y por una salud cada vez más quebrantada. Consiguió, con todo, acabar la última de sus obras, los *Discursos y demostraciones matemáticas* en torno a dos nuevas Ciencias, donde, a partir de la discusión sobre la estructura y la resistencia de los materiales, demostró las leyes de caída de los cuerpos en el vacío y elaboró una teoría completa sobre el movimiento de los proyectiles. El análisis galileano del movimiento sentó las bases físicas y matemáticas sobre las que los científicos de la siguiente generación edificaron la Mecánica Física.

•

La Ciencia luchaba porque era su deber manifestarse; la Iglesia, según sus proyectos, hizo lo mismo, y fue quien ganó la batalla. Y no sería la última victoria. A partir de la Reforma protestante del siglo XVI y la consiguiente Contrarreforma católica, la sociedad europea vivió en una atmósfera de exaltación religiosa que en buena medida caracteriza al Barroco, descendiente del Renacimiento y sostenido hasta los orígenes del enciclopedismo finisecular del siglo XVIII. Es la afirmación del individuo dentro de una sociedad más abierta, no tan minoritaria como la renacentista, y en la que se cree cada vez con más convencimiento que la razón es un instrumento suficiente para conocer el mundo.

No obstante, a la hora de relacionar la producción científica con las creencias religiosas, hay que tener presente la preponderancia relativa de protestantes a lo largo de la historia de instituciones científicas, como la Sociedad Real de Londres o la Academia de Ciencias de París, creadas, respectivamente, en 1662 y 1666. Las razones son: ausencia de Inquisición en los países protestantes, congruencia entre la ética protestante y la actitud científica (a pesar de que en un principio tanto Lutero como Calvino arremetieran contra Copérnico); uso de la Ciencia para alcanzar fines religiosos, y el relativo acuerdo entre los valores cósmicos de la Teología protestante y los de las teorías de la embrionaria Ciencia moderna.

NOVUM ORGANUM, UN NUEVO ESTILO CIENTIFICO

El londinense Francis Bacon (1561–1626), pretendió remediar la corrupción que, en su opinión, había introducido Aristóteles en la Filosofía Natural con su dialéctica.

•

Bacon, Francis (Londres, 1561–id., 1626) Filósofo, científico y político inglés. Su padre era un alto magistrado en el gobierno de Isabel I, y fue educado por su madre en los principios del puritanismo calvinista. Estudió en el Trinity College de Cambridge y en 1576 ingresó en el Gray's Inn de Londres para estudiar leyes, aunque pocos meses después marchó a Francia como miembro de una misión diplomática. En 1579, la muerte

repentina de su padre lo obligó a regresar precipitadamente y a reemprender sus estudios, falto de recursos para llevar una vida independiente. En 1582 empezó a ejercer la abogacía, y fue magistrado cuatro años más tarde. En 1584 obtuvo un escaño en la Cámara de los Comunes por mediación de su tío, el barón de Burghley, a la sazón lord del Tesoro; durante treinta y seis años se mantuvo como parlamentario y fue miembro de casi todas las comisiones importantes de la Cámara Baja.

La protección de Robert Devereux, segundo conde de Essex, le permitió acceder al cargo de abogado de la reina. Su situación mejoró con la subida al trono de Jacobo I, quien le nombró procurador general en 1607, fiscal de la Corona en 1613 y lord Canciller en 1618, además de concederle los títulos de barón de Verulam y de vizconde de St. Albans. Sin embargo, en 1621, procesado por cohecho y prevaricación, fue destituido de su cargo y encarcelado. Aunque fue puesto en libertad al poco tiempo, ya nunca recuperó el favor real.

Durante toda su carrera persiguió una reforma coherente de las leyes y el mantenimiento del Parlamento y los tribunales a salvo de las incursiones arbitrarias de los gobernantes; pero, sobre todo, su objetivo era la reforma del saber. Su propósito inicial era redactar una inmensa «Historia Natural», que debía abrir el camino a una nueva «Filosofía inductiva», aunque la acumulación de cargos públicos le impidió el desarrollo de la tarea que se había impuesto, a la que, de hecho, sólo pudo dedicarse plenamente los últimos años de su vida.

Sometió todas las ramas del saber humano aceptadas en su tiempo a revisión, clasificándolas de acuerdo con la facultad de la mente (memoria, razón o imaginación) a la que pertenecían; llamó a este esquema «la gran instauración», y muchos de los escritos dispersos que llegó a elaborar, como *El avance del conocimiento* (*Advancement of Learning*, 1605) –superado más tarde por el *De augmentis scientiarum*–, estaban pensados como partes de una *Instauratio magna* final. Criticando el planteamiento aristotélico, consideró que la verdad sólo puede ser alcanzada a través de la experiencia y el razonamiento inductivo, de acuerdo con un método del que dio una exposición incompleta en su *Novum organum scientiarum* (1620).

El método inductivo que elaboró pretendía proporcionar un instrumento para analizar la experiencia, a partir de la recopilación exhaustiva de casos particulares del fenómeno investigado y la posterior inducción, por analogía, de las características o propiedades comunes a todos ellos. Según Bacon, ese procedimiento había de conducir, gradualmente, desde las proposiciones más particulares a los enunciados más generales. Aun cuando el método baconiano ejerció, nominalmente, una gran influencia en los medios científicos, lo cierto es que el filósofo desarrolló su pensamiento al margen de las corrientes que dieron lugar al surgimiento de la Ciencia moderna, caracterizada por la formulación matemática de sus resultados, a la que él mismo no concedió la importancia debida. Bacon concibió la Ciencia como una actividad social ligada a la Técnica, elaborando una utopía, Nueva Atlántida (*The New Atlantis*, publicada póstumamente en 1627), basada en la organización científica de la sociedad.

Bacon había sido educado para la Corte y en la Corte se desenvolvió con tal habilidad que se mantuvo prácticamente incombustible a los intrigantes cambios internos hasta poco antes de su muerte. Fue asistente en la embajada inglesa en Francia, parlamentario, confidente, favorito (se dice que también traidor, sobornante y sobornable, procurador general, apoderado general y lord Canciller. Se convirtió en el ideólogo del Gresham College, fundado en 1598 por el comerciante Thomas Gresham con el fin de enseñar a navegantes, comerciantes y artesanos el uso de la Geometría, los logaritmos, la cartografía y otros conocimientos útiles a su oficio. En esta institución se enseñaba en latín y en inglés; en la Universidad, sólo en latín.

Aquel movimiento de formación profesional que va arraigando en la sociedad inglesa, promueve la escritura original y traducción en lenguas vernáculas de las obras científicas y técnicas. Y en ese movimiento, el método lógico–deductivo que Aristóteles propuso en su *Organon*, convertido por tantos siglos en el fundamento de la actividad científica, es desplazado por el método experimental–inductivo, basado en las historias naturales, conjunto de observaciones y datos, que Bacon propuso en su *Novum Organum*.

El *Novum Organum*, que puede traducirse como el Nuevo Instrumento, es un intento de sistematización del proceso de adquisición de conocimientos a partir de la observación de los fenómenos, tal como se producen, o sometiendo a determinadas condiciones experimentales. Es lo que ha pasado a la historia como la primicia del Método Científico. Sin embargo, no fue Bacon un buen estimulador de su propio método, porque fue incapaz de realizar ningún descubrimiento. De sus intentos experimentales sobre la densidad, el sonido, la luz, el calor, el magnetismo, el peso y otros, sólo se desprenden algunas historias naturales poco consistentes, cuando no erróneas, y sin llegar jamás a alguna ley o teoría general. Como un error fatal puede considerarse que su muerte fuera consecuencia de una pulmonía contraída mientras intentaba encontrar cómo conservar los pollos en un ambiente muy frío.

La obra de Bacon ejerció una significativa influencia en Inglaterra durante el siglo XVII, y en Francia durante el XVIII, para el desarrollo de las Ciencias, que podríamos llamar baconianas. Después fue una obra prácticamente abandonada, y hoy el baconianismo se nos aparece como una Filosofía ciega y estéril, como un método impracticable, dada su desconfianza hacia las Teorías y su insistencia en los hechos, capaces de llevarnos a la verdad por un proceso natural de inducción. El método baconiano, cualitativo e inductivo, contribuyó al desarrollo de la Biología y la Geología evolucionista en la primera fase de su formación, durante el siglo XIX.

La obra de Bacon está desarrollada en forma de aforismos, con los que pretende integrar las tradiciones culta y artesanal, buscando el fin que en su opinión la Ciencia debe tener: ser útil al progreso social y proporcionar un conocimiento verdadero de la Naturaleza. Considera que hasta entonces, las Ciencias han sido tratadas o por los empíricos o por los dogmáticos. Achaca el estancamiento de la Filosofía Natural a los teólogos escolásticos, provocando más destrucción aún que la Filosofía espinosa y contenciosa de Aristóteles, (aunque en algunos aspectos es bastante aristotélico, como en la negación de los átomos y el vacío).

LA FILOSOFIA MECANICA : UNA SERIA Y DUDOSA APUESTA POR EL CORPUSCULISMO

A partir del siglo XVII, es más frecuente la observación o la preparación y provocación de fenómenos con fines experimentales. Cada vez más, la experimentación es una vía de conocimiento y no una mera comprobación de conclusiones obtenidas de antemano por medios teóricos. Los científicos baconianos fueron refinando su tendencia, tercamente naturalista en principio, hacia una equilibrada combinación de teoría y experimento. Así fueron ganando terreno para esa nueva forma de hacer Ciencia, avalados por logros tan destacados como la determinación de pesos específicos o la Ley de los Gases, que relaciona volúmenes y presiones, trabajos ambos del baconiano más prestigioso, Robert Boyle, cuya actitud científica está un tanto alejada ya de los planteamientos de Bacon.

•

Boyle, Robert (Lisemore, actual Irlanda, 1627–Londres, 1691). Químico inglés, nacido en Irlanda. Pionero de la experimentación en el campo de la Química, en particular en lo que respecta a las propiedades de los gases, sus razonamientos sobre el comportamiento de la materia a nivel corpuscular fueron los precursores de la moderna Teoría de los elementos químicos. Fue también uno de los miembros fundadores de la Royal Society de Londres.

Nacido en el seno de una familia de la nobleza, estudió en los mejores colegios ingleses y europeos. De 1656 a 1668 trabajó en la Universidad de Oxford como asistente de Robert Hooke, con cuya colaboración contó en la realización de una serie de experimentos que establecieron las características físicas del aire, así como el papel que éste desempeña en los procesos de combustión, respiración y transmisión del sonido. Los resultados de estas aportaciones fueron recogidos en su *Nuevos Experimentos Físico-mecánicos* acerca de la elasticidad del aire y sus efectos (1660). En la segunda edición de esta obra (1662), expuso la famosa propiedad de los gases conocida con el nombre de Ley de Boyle–Mariotte, que establece que el volumen ocupado por un gas (hoy se sabe que esta ley se cumple únicamente aceptando un teórico comportamiento ideal del gas), a

temperatura constante, es inversamente proporcional a su presión.

En 1661 publicó *The Sceptical Chemist*, obra en la que ataca la vieja teoría aristotélica de los cuatro elementos (tierra, agua, aire, fuego), así como los tres principios defendidos por Paracelso (sal, sulfuro y mercurio). Por el contrario, Boyle propuso el concepto de partículas fundamentales que, al combinarse entre sí en diversas proporciones, generan las distintas materias conocidas.

Su trabajo experimental abordó así mismo el estudio de la calcinación de varios metales; también propuso la forma de distinguir las sustancias alcalinas de las ácidas, lo que dio origen al empleo de indicadores químicos. Protestante devoto, invirtió parte de su dinero en obras como la traducción y publicación del Nuevo Testamento en gaélico y turco.

•

Hacia mediados del siglo XVII hay una tendencia hacia la recuperación de las filosofías atomistas o corpusculares de los griegos. La importancia concedida a los experimentos aumenta, como en el caso de la producción de vacío o la observación de fenómenos a bajas presiones. Se introduce nuevo instrumental científico, se diseñan y manejan termómetros, barómetros, microscopios, telescopios, detectores de cargas eléctricas, etc.

El debilitamiento de la fe ante la razón, según lo entendieron quienes, sin prescindir de la mano de Dios para diseñar y gobernar el mundo, optaron por un estudio de la Naturaleza por vía matemática, cierta dosis de lógica y algo de experimentación, real o mental, abarcando así a clásicos y a baconianos, da paso a una nueva forma de reconocimiento público: el prestigio de quien es capaz de convencer con el peso de los hechos y de las predicciones.

Por este camino se da pie a las controversias y disputas de prioridad tan famosas en esta época. Son célebres los enfrentamientos entre Descartes y Gassendi, Rømer y Torricelli, Newton y Leibniz, y no digamos entre los Bernoulli.

•

Descartes, René (La Haye, Francia, 1596–Estocolmo, Suecia, 1650) Filósofo y matemático francés. Se educó en el colegio jesuita de La Flèche (1604–1612), donde gozó de un cierto trato de favor en atención a su delicada salud. Obtuvo el título de Bachiller y de Licenciado en Derecho por la facultad de Poitiers (1616), y a los veintidós años partió hacia los Países Bajos, donde sirvió como soldado en el ejército de Mauricio de Nassau.

En 1619 se enroló en las filas del duque de Baviera; el 10 de noviembre, en el curso de tres sueños sucesivos, experimentó la famosa «revelación» que lo condujo a la elaboración de su método. Tras renunciar a la vida militar, viajó por Alemania y los Países Bajos y regresó a Francia en 1622, para vender sus posesiones y asegurarse así una vida independiente; pasó una temporada en Italia (1623–1625) y se afincó luego en París, donde se relacionó con la mayoría de científicos de la época. En 1628 decidió instalarse en los Países Bajos, lugar que consideró más favorable para cumplir los objetivos filosóficos y científicos que se había fijado, y residió allí hasta 1649.

Los cinco primeros años los dedicó principalmente a elaborar su propio sistema del mundo y su concepción del hombre y del cuerpo humano, que estaba a punto de completar en 1633 cuando, al tener noticia de la condena de Galileo, renunció a la publicación de su obra, que tendría lugar póstumamente. En 1637 apareció su famoso *Discurso del método*, presentado como prólogo a tres ensayos científicos. Descartes proponía una duda metódica, que sometiese a juicio todos los conocimientos de la época, aunque, a diferencia de los escépticos, la suya era una duda orientada a la búsqueda de principios últimos sobre los cuales cimentar

sólidamente el saber. Este principio lo halló en la existencia de la propia conciencia que duda, en su famosa formulación «pienso, luego existo».

Sobre la base de esta primera evidencia, pudo desandar en parte el camino de su escepticismo, hallando en Dios el garante último de la verdad de las evidencias de la razón, que se manifiestan como ideas «claras y distintas». El método cartesiano, que propuso para todas las Ciencias y disciplinas, consiste en descomponer los problemas complejos en partes progresivamente más sencillas hasta hallar sus elementos básicos, las ideas simples, que se presentan a la razón de un modo evidente, y proceder a partir de ellas, por síntesis, a reconstruir todo el complejo, exigiendo a cada nueva relación establecida entre ideas simples la misma evidencia de éstas. Los ensayos científicos que seguían, ofrecían un compendio de sus teorías físicas, entre las que destaca su formulación de la Ley de Inercia y una especificación de su método para las Matemáticas.

Los fundamentos de su Física mecanicista, que hacía de la extensión la principal propiedad de los cuerpos materiales, los situó en la Metafísica que expuso en 1641, donde enunció así mismo su demostración de la existencia y la perfección de Dios y de la inmortalidad del alma. El mecanicismo radical de sus teorías físicas, sin embargo, determinó que fuesen superadas más adelante. Pronto su filosofía empezó a ser conocida y comenzó a hacerse famoso, lo cual le acarreó amenazas de persecución religiosa por parte de algunas autoridades académicas y eclesiásticas, tanto en los Países Bajos como en Francia.

En 1649 aceptó la invitación de la reina Cristina de Suecia y se desplazó a Estocolmo, donde murió cinco meses después de su llegada a consecuencia de una neumonía. Descartes es considerado como el iniciador de la Filosofía racionalista moderna por su planteamiento y resolución del problema de hallar un fundamento del conocimiento que garantice la certeza de éste, y como el filósofo que supone el punto de ruptura definitivo con la escolástica.

•

El atomismo recuperado empezó por aplicarse a la Química, incipiente Ciencia baconiana, para describir los procesos de corrupción y generación, como entonces se denominaban la descomposición y formación de sustancias. El holandés Daniel Sennert, (1572–1637), expuso la teoría de que las sustancias sujetas a aquellos procesos, estaban compuestas por cuerpos simples que eran mínima-físicos y no mínima-matemáticos: eran, por tanto, átomos reales. Postuló cuatro clases de átomos, correspondiéndose con los cuatro elementos aristotélicos (aire, agua, tierra, fuego), y elementos de segundo orden (prima mixta), producidos por la combinación de los elementos aristotélicos.

•

Gassendi, Pierre (Champtercier, Francia, 1592–París, 1655) Matemático y filósofo francés. Alrededor de 1614 se doctoró en Teología por la Universidad de Aviñón. En sus obras buscó la reconciliación del atomismo mecanicista con la doctrina cristiana por medio de un rechazo del aristotelismo y de la intuición cartesiana en favor de un empirismo inspirado en el pensamiento de Epicuro. En la obra *Syntagma philosophicum*, publicada póstumamente en 1658, Gassendi abogó por el método inductivo aplicado a la experiencia sensible como base para el conocimiento; aceptó sin embargo el razonamiento deductivo en disciplinas como las Matemáticas. Consideró la armonía de la Naturaleza y la capacidad del hombre para percibirla como la prueba definitiva de la existencia de Dios. Siguiendo los pasos de su admirado Epicuro, definió la felicidad como el fin motivador, en último término inalcanzable, del hombre.

•

También conoció Boyle las teorías atomistas de Pierre Gassendi (1592–1665), profesor de Matemáticas del College de France, que divulgó los átomos de Epicuro, pero atribuyendo su origen a la acción

divina, que actuaba dando un impulso inicial al principio de todas las cosas. En un acto piadoso, Gassendi liberó los átomos de las cualidades ateas y subversivas que les atribuyeron algunas doctrinas antiguas. Para él, los átomos eran partículas dotadas de inercia moviéndose en el vacío, que a partir de los experimentos de Torricelli (1608–1647), ya no era una dudosa entelequia; relacionó las propiedades químicas con las formas de los átomos y estableció mecanismos físicos para la combinación de moleculae o corpusculae.

El sistema de Gassendi fue introducido en Inglaterra por el médico Walter Charleton, uno de los primeros miembros de la Real Sociedad inglesa, quien se empeñó en ver los átomos con el recién inventado microscopio. A través de Charleton, Boyle y Newton estuvieron informados de las teorías corpusculares resucitadas en el continente, enfrentadas a las teorías del Plenum cartesiano, en las que no tenía cabida el vacío.

.

Torricelli, Evangelista (Faenza, actual Italia, 1608–Florencia, 1647) Físico y matemático italiano. Se le atribuye la invención del barómetro. Así mismo, sus aportaciones a la Geometría fueron determinantes en el desarrollo del cálculo integral. Su tratado sobre Mecánica De mutu (Acerca del movimiento), logró impresionar a Galileo, en quien el propio Torricelli se había inspirado a la hora de redactar la obra.

En 1641 recibió una invitación para actuar como asistente de un ya anciano Galileo en Florencia, durante los que fueron los tres últimos meses de vida del célebre astrónomo de Pisa. A la muerte de aquél, Torricelli fue nombrado profesor de Matemáticas de la Academia Florentina. Dos años más tarde, atendiendo una sugerencia formulada por Galileo, llenó con mercurio un tubo de vidrio de 1,2 m de longitud, y lo invirtió sobre un plato; comprobó entonces que el mercurio no se escapaba, y observó que en el espacio existente por encima del metal se creaba el vacío.

Tras muchas observaciones, concluyó que las variaciones en la altura de la columna de mercurio se deben a cambios en la presión atmosférica. Nunca llegó a publicar estas conclusiones, dado que se entregó de lleno al estudio de la Matemática pura, incluyendo en su labor cálculos sobre la cicloide y otras figuras geométricas complejas. En su título Opera geométrica, publicado en 1644, expuso también sus hallazgos sobre fenómenos de Mecánica de fluidos y sobre el movimiento de proyectiles.

.

La adopción del corpusculismo por los baconianos favoreció que las actividades experimentales fueran cada vez más científicas y menos mágicas. En Italia, se llamó experimento filosófico al proceso de determinación de la presión atmosférica por Torricelli. Incluso a los aparatos nuevos que se fueron introduciendo se les llamó instrumentos filosóficos.

Boyle, este magnífico baconiano convencido, que, según él mismo dijo, fundamentó su tendencia experimentalista en la Teoría corpuscular, a la que denominó Filosofía Mecánica. La extensión de su obra comprende seis volúmenes de unas 800 páginas cada uno. Construyó una balanza hidrostática, junto con Robert Hooke (1635–1730): con ella pudo zanjar el problema de la determinación de los pesos específicos que venía preocupando especialmente a quienes manejaban sustancias para la preparación de medicamentos.

.

Guericke, Otto von (Magdeburgo, actual Alemania, 1602–Hamburgo, 1686) Físico e ingeniero alemán. Estudió derecho en la Universidad de Jena y Matemáticas en la de Leiden. Durante la guerra de los

Treinta Años sirvió como ingeniero en el ejército de Gustavo Adolfo de Suecia. De sus estudios sobre el vacío concluyó que éste admitía la propagación de la luz pero no la del sonido, y que determinados procesos como la combustión, y por tanto la respiración animal, no podían tener lugar en condiciones de ausencia de aire.

En 1654 realizó su famoso experimento de los hemisferios de Magdeburgo, en el que dos semiesferas de cobre de 3,66 metros de diámetro quedaron unidas con tal fuerza por el efecto de un vacío parcial creado en su interior que ni con la fuerza de dieciséis caballos fue posible separarlas.

•

También construyeron una máquina neumática, a raíz de la fabricada en Alemania por Otto von Guericke, para realizar experimentos en vacío o en condiciones de presión variable. Las cuestiones relativas al peso del aire y a la existencia o no del vacío, (todavía subsistía la teoría del horror vacui, horror al vacío de la Naturaleza), ocupó a la mayoría de los filósofos, experimentales o teóricos, del siglo XVII. Por fin se quedó fuera de toda duda que el aire pesaba, siendo Boyle quien determinó con mayor aproximación su peso específico respecto al agua. Su célebre Hypothesis, Ley de las presiones y volúmenes, no la publicó hasta 1662.

LAS CIENCIAS FISICAS CLASICAS: UN CUERPO UNICO EN TORNO A LAS MATEMATICAS

Un aspecto sobresaliente de la Revolución Científica del Barroco es la búsqueda de una metodología adecuada. En el continente hay que destacar a Descartes, que se diferenció de Bacon por su énfasis en las Matemáticas, considerada la reina de las Ciencias, por la insistencia en el razonamiento deductivo. Descartes, que latinizó su nombre como Renatus Cartesius, de donde procede la denominación de sistema y coordenadas cartesianas de la Geometría Analítica que él ideó, escribió, sin embargo, mucho en francés, síntoma ya apuntado de la decadencia de aquella lengua culta a favor de las lenguas vernáculas. En 1649 fue llamado por la reina Cristina de Suecia, deseosa de dar lustre a su Corte con un filósofo afamado. Poco duró la experiencia: el 11 de Febrero de 1650 murió de neumonía. Enviaron su cadáver a Francia sin la cabeza, hasta que en 1809 la recuperó el químico sueco Berzelius, quien la envió al anatomista francés Cuvier, completándose entonces los restos mortales de quien hizo famosa la expresión cogito ergo sum.

El Discurso del Método, publicado en francés en 1637, era la parte introductoria de una gran obra con la que pretendía dar a su Teoría del Universo físico, creado por un Dios perfecto y justo, origen de cualquier creencia o conocimiento. El universo cartesiano estaba concebido como una combinación de materia y movimiento. Considera la materia como extensión despojada de cualquier posibilidad de acción intrínseca, identificándola con el espacio mismo. Así llega a conclusiones como que el mundo es un continuo físico uniforme, extendido indefinidamente y no mensurable.

Estuvo acertado al afirmar que los movimientos naturales se producen con velocidad uniforme y en línea recta, no en círculo como había propuesto Galileo, de manera que fue Descartes y no el pisano quien formuló el Principio de la Inercia. En síntesis, sus Principia Philosophiae (1644) conciben un Universo lleno de materia y divisible hasta el infinito (niega, por tanto, la atomicidad y el vacío), alrededor de cuyas partículas se generan torbellinos, de tal forma que una no puede moverse sin provocar movimiento en las contiguas. Así, los planetas, embarcados en esos torbellinos, pueden describir sus respectivas órbitas: no tenían cabida en este concepto las indiscutibles leyes de Kepler (1571–1630).

•

Kepler, Johannes (Würtemberg, actual Alemania, 1571–Ratisbona, id., 1630) Astrónomo, matemático y

físico alemán. Hijo de un mercenario –que sirvió por dinero en las huestes del duque de Alba y desapareció en el exilio en 1589– y de una madre sospechosa de practicar la brujería, superó las secuelas de una infancia desgraciada y sórdida merced a su tenacidad e inteligencia. Tras estudiar en los seminarios de Adelberg y Maulbronn, ingresó en la Universidad de Tubinga (1588), donde cursó los estudios de Teología y fue también discípulo del copernicano Michael Mästlin. En 1594, sin embargo, interrumpió su carrera teológica al aceptar una plaza como profesor de Matemáticas en el seminario protestante de Graz.

Cuatro años más tarde, unos meses después de contraer un matrimonio de conveniencia, el edicto del archiduque Fernando contra los maestros protestantes le obligó a abandonar Austria y en 1600 se trasladó a Praga invitado por Tycho Brahe. Cuando éste murió repentinamente al año siguiente, Kepler lo sustituyó como matemático imperial de Rodolfo II, con el encargo de acabar las tablas astronómicas iniciadas por Brahe y en calidad de consejero astrológico, función a la que recurrió con frecuencia para ganarse la vida.

En 1611 fallecieron su esposa y uno de sus tres hijos; poco tiempo después, tras el óbito del emperador y la subida al trono de su hermano Matías, fue nombrado profesor de Matemáticas en Linz. Allí residió hasta que, en 1626, las dificultades económicas y el clima de inestabilidad originado por la guerra de los Treinta Años lo llevaron a Ulm, donde supervisó la impresión de las Tablas rudolfinas, iniciadas por Brahe y completadas en 1624 por él mismo utilizando las leyes relativas a los movimientos planetarios que aquél estableció.

En 1628 pasó al servicio de A. von Wallenstein, en Sagan (Silesia), quien le prometió, en vano, resarcirle de la deuda contraída con él por la Corona a lo largo de los años. Un mes antes de morir, víctima de la fiebre, había abandonado Silesia en busca de un nuevo empleo. La primera etapa en la obra de Kepler, desarrollada durante sus años en Graz, se centró en los problemas relacionados con las órbitas planetarias, así como en las velocidades variables con que los planetas las recorren, para lo que partió de la concepción pitagórica según la cual el mundo se rige en base a una armonía preestablecida.

Tras intentar una solución aritmética de la cuestión, creyó encontrar una respuesta geométrica relacionando los intervalos entre las órbitas de los seis planetas entonces conocidos con los cinco sólidos regulares. Juzgó haber resuelto así un «misterio cosmográfico» que expuso en su primera obra, *Mysterium cosmographicum* (El misterio cosmográfico, 1596), de la que envió un ejemplar a Brahe y otro a Galileo, con el cual mantuvo una esporádica relación epistolar y a quien se unió en la defensa de la causa copernicana. Durante el tiempo que permaneció en Praga, realizó una notable labor en el campo de la Óptica: enunció una primera aproximación satisfactoria de la Ley de la refracción, distinguió por vez primera claramente entre los problemas físicos de la visión y sus aspectos fisiológicos, y analizó el aspecto geométrico de diversos sistemas ópticos.

Pero su trabajo más importante fue la revisión de los esquemas cosmológicos conocidos a partir de la gran cantidad de observaciones acumuladas por Brahe (en especial, las relativas a Marte), labor que desembocó en la publicación, en 1609, de la *Astronomia Nova* (Nueva Astronomía), la obra que contenía las dos primeras Leyes llamadas de Kepler, relativas a la elipticidad de las órbitas y a la igualdad de las áreas barridas, en tiempos iguales, por los radios vectores que unen los planetas con el Sol.

Culminó su obra durante su estancia en Linz, en donde enunció la tercera de sus Leyes, que relaciona numéricamente los períodos de revolución de los planetas con sus distancias medias al Sol; la publicó en 1619 en *Harmonices mundi* (Sobre la armonía del mundo), como una más de las armonías de la Naturaleza, cuyo secreto creyó haber conseguido desvelar merced a una peculiar síntesis entre la Astronomía, la Música y la Geometría.

Brahe, Tycho (Knudstrup, Dinamarca, 1546–Benatky, actual Chequia, 1601) Astrónomo danés. Hijo mayor de un miembro de la nobleza danesa, cuando contaba tan sólo un año fue literalmente secuestrado por su tío, quien no tenía descendencia y se ocupó de su educación con el consentimiento del padre de Brahe.

Orientado por su familia a la carrera política, en 1559 fue enviado a Copenhague para estudiar Filosofía y Retórica, tras lo cual cursó estudios de Derecho en Leipzig (1562–1565); sin embargo, en 1560, año en que presencié un eclipse de sol, decidió dedicarse a la Astronomía, disciplina que durante una primera época estudió por su cuenta. Su primer trabajo astronómico, publicado en 1573, estuvo dedicado a la aparición de una nova en la constelación de Casiopea, observación que había efectuado en noviembre del año anterior.

Tras haber establecido, mediante cuidadosas comprobaciones, la ausencia de paralaje y de movimiento retrógrado, llegó a la conclusión de que la estrella no era un fenómeno sublunar, y que tampoco estaba situada en ninguna de las esferas planetarias. El resultado contradecía la tesis aristotélica de la inmutabilidad de la esfera de las estrellas fijas.

Pronto Brahe empezó a gozar de una sólida reputación como astrónomo. Tras su matrimonio en 1573 con una campesina, que pudo realizarse después de que la oposición de la familia se suavizara merced a la intervención del rey Federico II, éste le concedió una pensión y le regaló de por vida la isla de Hveen, en el Sund, donde Brahe edificó el castillo de Uraniborg, dotado de un observatorio. Concluida su construcción en 1580 (aunque nunca lo consideró acabado a su entera satisfacción), lo equipó con todo tipo de instrumentos, algunos de colosales proporciones, como es el caso de un enorme cuadrante mural cuya invención se le atribuyó erróneamente. Estaba convencido de que el progreso de la Astronomía dependía, en aquellos momentos, de realizar una serie continuada y prolongada de observaciones del movimiento de los planetas, el Sol y la Luna. La precisión que alcanzó en dichas observaciones fue notable, con un error inferior en ocasiones al medio minuto de arco, lo cual le permitió corregir casi todos los parámetros astronómicos conocidos y determinar la práctica totalidad de las perturbaciones del movimiento lunar.

Tycho Brahe es conocido por ser el introductor de un sistema de Mecánica Celeste que vino a ser una solución de compromiso entre el sistema geocéntrico ptolemaico y el heliocéntrico elaborado por Copérnico: la Tierra se sitúa en el centro del Universo y es el centro de las órbitas de la Luna y del Sol, mientras que los restantes planetas giran alrededor de este último. En realidad, el sistema es idéntico al copernicano, en cuanto a que los cálculos de las posiciones de los planetas arrojan los mismos resultados en uno y otro sistema; pero conserva formalmente el principio aristotélico de presunta inmovilidad de la Tierra y su posición central en el Universo.

La discusión del movimiento del cometa avistado en 1577 le brindó la oportunidad de exponer su sistema en un texto del que algunos ejemplares circularon, en 1588, entre sus amigos y correspondientes, si bien no se editó propiamente hasta 1603; en dicho texto demostró la condición de objetos celestes de los cometas (contra la atribución de un origen y naturaleza atmosféricos que les hizo Aristóteles), y observó que su órbita podía no ser exactamente circular, sino parecida a un óvalo. A la muerte de Federico II y durante la minoría de edad de su sucesor, Brahe perdió su pensión y los derechos sobre la isla; en 1597 abandonó Dinamarca y, tras una estancia en Hamburgo, en 1599 llegó a Praga y se instaló en el cercano castillo de Benatky, gracias a la acogida que le dispensó Rodolfo II. En 1600, un todavía joven Johannes Kepler aceptó la invitación de Brahe para iniciar una colaboración a la que, dos años más tarde, puso fin la repentina muerte de éste; con todo, gracias a las observaciones de los movimientos planetarios realizadas por Brahe, pudo Kepler culminar su propia obra.

.

En el siglo XVII, la Óptica Geométrica (una combinación de líneas y ángulos), la Astronomía (basada en la Geometría de posición), la Estática (incluida la Hidrostática, ambas construidas a base de proporciones aritméticas), la Armonía (teoría de la Música y, por tanto, del sonido, entendida como una especie de canto a la proporcionalidad), y la Mecánica (como Ciencia del movimiento), se ven impulsadas por los avances del Álgebra y el establecimiento de la Geometría Analítica, primero, y del Cálculo infinitesimal, después, gracias al cual fue posible establecer en el siglo XVIII la Hidrodinámica, la Dinámica de los sólidos y la Mecánica celeste. De manera que los temas de estudio son prácticamente idénticos de un tiempo pasado al actual: Euclides, Arquímedes y Ptolomeo hacen Física o Matemática sobre los mismos problemas que Kepler y Newton en el XVII o Euler, Laplace y Gauss en el XVIII. Estos últimos protagonistas de la matematización más profunda de las Ciencias Físicas clásicas, pertenecen al movimiento científico continental de corte germánico-francés, asociado con el establecimiento de Centros politécnicos para formar ingenieros y militares.

Y entonces, en aquel tiempo de avances a media luz, aparece, como un Sol resplandeciente en los albores de la Física, la figura gigantesca de Isaac Newton.

..

Newton, sir Isaac (Woolsthorpe, Gran Bretaña, 1642–Londres, 1727) Físico y matemático inglés. Fue hijo póstumo de un pequeño terrateniente fallecido tres meses antes de su nacimiento, el cual se produjo de forma prematura. Cuando acababa de cumplir los tres años, su madre contrajo segundas nupcias y lo dejó al cuidado de su abuela materna, lo cual le ocasionó un trauma emocional en el que ha querido verse, junto a su condición de prematuro, el origen del temperamento neurótico e hipocondríaco que caracterizó al Newton maduro.

Recibió su educación primaria en la King's School de Grantham y, tras mostrar su incapacidad para ocuparse de la hacienda familiar, en 1661 fue enviado a la Universidad de Cambridge. Eligió estudiar Física y Matemáticas, pero no parece que fuera un alumno especialmente destacado.

La peste lo obligó a abandonar Cambridge en el verano de 1665, por lo que tuvo que iniciar un período de descanso forzoso en el que sentó las bases de sus principales aportaciones científicas, pues fue entonces cuando concibió la idea de gravitación universal tras preguntarse, al parecer, por qué razón una manzana caía siempre perpendicularmente hacia el centro de la Tierra en lugar de seguir otras trayectorias.

También redactó un esbozo del futuro cálculo de fluxiones y acometió el estudio experimental de la descomposición de la luz blanca mediante un prisma de refracción. De regreso en Cambridge, en 1667 fue elegido miembro del Trinity College y dos años después sucedió a su maestro Isaac Barrow en la cátedra de Matemáticas. Sus descubrimientos de óptica, que expuso en sus clases, le valieron ser elegido miembro de la Royal Society en 1672, hecho que señaló el inicio de su notoriedad, pero también el de una serie de controversias acerca de la prioridad en dichos descubrimientos, en particular con Robert Hooke; ello determinó que demorara hasta 1704, tras la muerte de Hooke, la publicación de su tratado de Óptica. En 1676 renunció a proseguir la polémica, y durante unos años se sumió en sus trabajos sobre el cálculo diferencial y en su interés por la alquimia y los estudios bíblicos.

En esa época redactó las primeras exposiciones sistemáticas de su cálculo infinitesimal y usó su conocida fórmula para el desarrollo en potencia de un binomio de exponente cualquiera, que había establecido ya unos años antes.

La correspondencia mantenida con Hooke a partir de 1679 parece que avivó su interés por la Dinámica,

campo en el que se concentró en la demostración teórica de las Leyes de los movimientos planetarios enunciadas por Kepler.

Cuando Edmund Halley lo visitó en 1684, comprobó que Newton había resuelto ya el problema y lo animó a hacer públicos sus resultados. La intervención de Halley resultó decisiva en la publicación de los Principia, la obra científica más influyente y significativa de su época, que contiene la formulación matemática de la Ley de la Gravitación Universal, interpretada como principio unificador del movimiento; Halley se ocupó de que el manuscrito fuese presentado ante la Royal Society, que se encargó de la edición, costeando él personalmente la impresión, terminada en julio de 1687. La obra contiene la demostración del hecho experimental según el cual una esfera gravitatoria homogénea ejerce una atracción sobre los puntos exteriores a ella y se comporta como si toda su masa se encontrara situada en su centro; y la ley de la atracción gravitatoria, que aparece comprobada para el movimiento de la Luna. Incluye también la primera publicación impresa del cálculo infinitesimal creado por Newton, reconociendo, en su primera edición, que Leibniz estaba en posesión de un método análogo; pese a ello, los partidarios de uno y otro se enzarzaron en una nueva disputa de prioridades, que el propio científico alentó entre bastidores.

En 1687 formó parte de la comisión formada por la Universidad de Cambridge en oposición a las medidas de catolización del rey Jacobo II. Tras la Revolución de 1688, fue elegido representante de la Universidad ante el Parlamento. En 1696 aceptó el nombramiento de director de la Casa de la Moneda, que pasó a presidir tres años después. En 1701 renunció a su condición de profesor universitario y en 1703 fue elegido presidente de la Royal Society, cargo que desempeñó hasta su fallecimiento.

.

Newton adquiere su formación general y científica cuando en Inglaterra estaba en pleno apogeo el baconianismo, aunque la instrucción recibida en el Trinity College de la Universidad de Cambridge estaba centrada, como era propio de la enseñanza universitaria en cualquier país, en las Ciencias Físicas clásicas en contra del escolasticismo. De manera que participó simultáneamente de ambas tradiciones puestas de manifiesto en los Principia, la clásica, y en la Optica, la experimentalista, no estrictamente baconiana, porque para Newton la experimentación tenía una relación inmediata con la fundamentación teórica.

.

Hooke, Robert (Freshwater, Inglaterra, 1635–Londres, 1703) Físico y astrónomo inglés. En 1655 colaboró con Robert Boyle en la construcción de una bomba de aire. Cinco años más tarde formuló la Ley de la Elasticidad que lleva su nombre, que establece la relación de proporcionalidad directa entre el estiramiento sufrido por un cuerpo sólido y la fuerza aplicada para producir ese estiramiento.

En esta Ley se fundamenta el estudio de la elasticidad de los materiales. Hooke aplicó sus estudios a la construcción de componentes de relojes. En 1662 fue nombrado responsable de experimentación de la Royal Society de Londres, siendo elegido miembro de dicha sociedad al año siguiente. En 1664, con un telescopio de Gregory de construcción propia, descubrió la quinta estrella del Trapecio, en la constelación de Orión; así mismo fue el primero en sugerir que Júpiter gira alrededor de su eje.

Sus detalladas descripciones del planeta Marte fueron utilizadas en el siglo XIX para determinar su velocidad de rotación. Un año más tarde fue nombrado profesor de Geometría en el Gresham College. Ese mismo año publicó su obra Micrographia, en la cual incluyó estudios e ilustraciones sobre la estructura cristalográfica de los copos de nieve y discusiones sobre la posibilidad de manufacturar fibras artificiales mediante un proceso similar al que siguen los gusanos de seda.

Sus estudios sobre fósiles microscópicos le llevaron a ser uno de los primeros impulsores de la Teoría de la Evolución de las especies. En 1666 sugirió que la fuerza de gravedad se podría determinar mediante el movimiento de un péndulo, e intentó demostrar la trayectoria elíptica que la Tierra describe alrededor del Sol. En 1672 descubrió el fenómeno de la difracción luminosa; para explicar este fenómeno, Hooke fue el primero en atribuir a la luz un comportamiento ondulatorio.

El carácter positivo y racionalista de Newton no le impidió ser, además, el último babilonio: dedicó una gran parte de su tiempo al esoterismo, la magia, la alquimia y demás estudios entendidos por los ortodoxos como perniciosas desviaciones, y conocía como nadie la obras herméticas y las Escrituras, siendo partidario de la herética negación de la Trinidad, lo que mantuvo en secreto toda su vida. Poco antes de morir guardó en un baúl la copiosa documentación que sobre estos temas había acumulado a lo largo de su vida.

.

Halley, Edmund (Londres, 1656–Greenwich, Gran Bretaña, 1742) Astrónomo inglés. Fue el primero en catalogar las estrellas del cielo austral, en su obra *Catalogus stellarum australium*. En 1682 observó y calculó la órbita del cometa que lleva su nombre, y anunció su regreso para finales de 1758, de acuerdo con una teoría suya que defendía la existencia de cometas de trayectoria elíptica asociados al Sistema Solar.

En la más importante de sus obras, *Synopsis astronomiae cometicae* (1705), aplicó las Leyes del movimiento de Newton a todos los datos disponibles sobre los cometas. Entre otras aportaciones en el campo de la Astronomía, demostró la existencia de movimiento propio en las estrellas, lo que reducía la vigencia de las observaciones más antiguas, y estudió la revolución completa de la Luna a lo largo de un período de dieciocho años. Sus Tablas astronómicas, en las que trabajó hasta su fallecimiento, estuvieron vigentes durante muchos años.

.

Durante el siglo XVII, la Mecánica adquiere un papel preferente en la Filosofía de la Naturaleza, que cada vez está más cerca de convertirse en una Física Matemática. Galileo defiende que las Matemáticas son ajustables a los objetos físicos, de manera que puede ser una herramienta útil para interpretar la Naturaleza si se tiene habilidad para elegir los experimentos. En este sentido encuentra simulaciones (modelos), para obviar felizmente las dificultades: el plano inclinado le sirvió para extender sus conclusiones a la caída de los graves, demasiado rápida, y por tanto, incontrolable con los medios de entonces. Es mérito suyo desprenderse del verbalismo anterior para intentar explicar los fenómenos recurriendo a la Geometría como medio sistematizador y deductivo.

El problema estaba en que las explicaciones se enredaban como una cadena sin llegar a lo que Galileo consideraba el fin último de sus investigaciones: la esencia de las cosas.

Y es en este punto donde Newton revoluciona el *modus científico*, produciendo un sistema matemático y unos principios matemáticos que se podrían luego aplicar a la Filosofía Natural, esto es, al sistema del mundo y sus reglas y datos, tal y como se determinan por la experiencia. Este estilo le permitía a Newton tratar problemas de las Ciencias Exactas como si fueran ejercicios de Matemática pura, ligando los experimentos y las observaciones a las Matemáticas de un modo notablemente fructífero.

.

Leibniz, Gottfried Wilhelm (Leipzig, actual Alemania, 1646–Hannover, id., 1716) Filósofo y matemático alemán. Su padre, profesor de Filosofía moral en la Universidad de Leipzig, falleció cuando él contaba seis años. Capaz de escribir poemas en latín a los ocho años, a los doce empezó a interesarse por la Lógica aristotélica a través del estudio de la Filosofía escolástica.

En 1661 ingresó en la Universidad de su ciudad natal para estudiar leyes, y dos años después se trasladó a la Universidad de Jena, donde estudió Matemáticas con E. Weigel. En 1666, la Universidad de Leipzig rechazó, a causa de su juventud, concederle el título de doctor, que obtuvo sin embargo en Altdorf; tras rechazar el ofrecimiento que allí se le hizo de una cátedra, en 1667 entró al servicio del arzobispo elector de Maguncia como diplomático, y en los años siguientes desplegó una intensa actividad en los círculos cortesanos y eclesiásticos.

En 1672 fue enviado a París con la misión de disuadir a Luis XIV de su propósito de invadir Alemania; aunque fracasó en la embajada, permaneció cinco años en París, donde desarrolló una fecunda labor intelectual. De esta época datan su invención de una máquina de calcular capaz de realizar las operaciones de multiplicación, división y extracción de raíces cuadradas, así como la elaboración de las bases del cálculo infinitesimal.

En 1676 fue nombrado bibliotecario del duque de Hannover, de quien más adelante sería consejero, además de historiador de la casa ducal. A la muerte de Sofía Carlota (1705), la esposa del duque, con quien Leibniz tuvo amistad, su papel como consejero de príncipes empezó a declinar. Dedicó sus últimos años a su tarea de historiador y a la redacción de sus obras filosóficas más importantes, que se publicaron póstumamente. Representante por excelencia del racionalismo, Leibniz situó el criterio de verdad del conocimiento en su necesidad intrínseca y no en su adecuación con la realidad; el modelo de esa necesidad lo proporcionan las verdades analíticas de las Matemáticas. Junto a estas verdades de razón, existen las verdades de hecho, que son contingentes y no manifiestan por sí mismas su verdad.

El problema de encontrar un fundamento racional para estas últimas lo resolvió afirmando que su contingencia era consecuencia del carácter finito de la mente humana, incapaz de analizarlas por entero en las infinitas determinaciones de los conceptos que en ellas intervienen, ya que cualquier cosa concreta, al estar relacionada con todas las demás siquiera por ser diferente de ellas, posee un conjunto de propiedades infinito. Frente a la Física cartesiana de la extensión, defendió una Física de la energía, ya que ésta es la que hace posible el movimiento. Los elementos últimos que componen la realidad son las mónadas, puntos inextensos de naturaleza espiritual, con capacidad de percepción y actividad, que, aun siendo simples, poseen múltiples atributos; cada una de ellas recibe su principio activo y cognoscitivo de Dios, quien en el acto de la creación estableció una armonía entre todas las mónadas.

Esta armonía preestablecida se manifiesta en la relación causal entre fenómenos, así como en la concordancia entre el pensamiento racional y las leyes que rigen la Naturaleza. Las contribuciones de Leibniz en el campo del cálculo infinitesimal, efectuadas con independencia de los trabajos de Newton, así como en el ámbito del análisis combinatorio, fueron de enorme valor. Introdujo la notación actualmente utilizada en el cálculo diferencial e integral.

Los trabajos que inició en su juventud, la búsqueda de un lenguaje perfecto que reformara toda la Ciencia y permitiese convertir la Lógica en un cálculo, acabaron por desempeñar un papel decisivo en la fundación de la moderna Lógica simbólica.

•

El estilo newtoniano también permitía dejar de lado, para un tratamiento independiente, el problema de la causa de la gravitación universal y el modo de su acción y transmisión.

Sus Principios de la Dinámica y la Ley de la Gravitación Universal, todo ello enmarcado en la opción de las acciones instantáneas a distancia, supuso la primera gran síntesis de la Física, que en lo sucesivo será tomada como referencia no sólo para los hechos mecánicos propiamente dichos; también se beneficiarán de esta síntesis las Ciencias baconianas en su transición hacia su catalogación como Ciencias clásicas.

Hay que destacar también la figura de Newton en el establecimiento de la Óptica Física, que a diferencia de la Óptica geométrica u Óptica de rayos, se interesa por la naturaleza de la luz y su comportamiento. Frente a la postura de Descartes, que mantiene la antigua idea de que la luz era una emanación de los ojos, coexisten las Teorías corpuscular de Newton, en consonancia con la corriente corpusculista de la época, y la ondulatoria del holandés Christian Huygens (1629–1695).

Huygens, Christian (La Haya, 1629–id., 1695) Matemático, astrónomo y físico holandés. Hijo del poeta renacentista Constantijn Huygens, pronto demostró un gran talento para la Mecánica y las Matemáticas. Estudió en la Universidad de Leiden y en el Colegio de Breda. Huygens adquirió una pronta reputación en círculos europeos por sus publicaciones de Matemáticas y por sus observaciones astronómicas, que pudo realizar gracias a los adelantos que introdujo en la construcción de telescopios.

Destacan, sobre todo, el descubrimiento del mayor satélite de Saturno, Titán (1650), y la correcta descripción de los anillos de Saturno, que llevó a cabo en 1659. Más tarde se trasladó a París, donde permaneció desde 1666 a 1681, fecha de su regreso a La Haya.

En 1666 fue miembro fundador de la Academia Francesa de Ciencias. En 1673 se publicó su famoso estudio sobre El reloj de péndulo, brillante análisis matemático de la Dinámica pendular en el que se incluyeron las soluciones completas a problemas como el período de oscilación de un péndulo simple y las leyes de la fuerza centrífuga para un movimiento circular uniforme. Contemporáneo de Isaac Newton, su actitud mecanicista le impidió aceptar la idea de fuerzas que actúan a distancia. El mayor logro de Huygens fue el desarrollo de la Teoría Ondulatoria de la luz, descrita ampliamente en el *Traité de la lumière* (1690), y que permitía explicar los fenómenos de la reflexión y refracción de la luz mejor que la Teoría corpuscular de Newton.

.

A pesar de las notables diferencias entre estas Teorías, la corpuscular de Newton y la ondulatoria de Huygens, todos consideran que la luz se propaga en un medio sutil y elástico, el éter, el fluido imponderable más invocado ante el tortuoso problema de contestar a tan simple pregunta: ¿cómo actúan entre sí los cuerpos?.

La comunidad científica crece, se agrupa y se vigoriza. Desde la invención de la imprenta en el siglo XV, la difusión de la cultura fue más rápida y extendida. Se dice que la Revolución Científica fue posible gracias a la imprenta. Otras variables que favorecieron lo que se ha dado en llamar el nacimiento de la Ciencia moderna, donde la Física representa un papel preponderante, fue la pérdida del monopolio docente de las Universidades, como consecuencia del debilitamiento de la oposición secular de la Iglesia hacia la Ciencia; el surgimiento de nuevas fuentes de riqueza en manos de artesanos y gentes poco distinguidas que fueron ganando sitio en los estamentos sociales y se mostraron muy sensibles a las actividades científicas, y algo ya comentado: el rechazo del criterio de autoridad, lo que propició la creación de centros de discusión, muchos de ellos amparados en la protección real.

Italia fue un país pionero en la fundación de Academias y Sociedades científicas que tenían cierta semejanza con las antiguas griegas, pero nada que ver con la estructura de las Universidades

medievales. En 1560 se funda en Nápoles la Accademia Secretorum Naturae; en Roma funcionó, entre 1603 y 1630, la Accademia dei Lincei, a la que perteneció Galileo, y sirvió de referencia para la Accademia del Cimento, fundada por los Médicis en Florencia en 1657. Estas Academias estuvieron sometidas a fuertes tensiones con la Iglesia romana.

En Francia, Luis XIV fundó en 1666 la Académie des Sciences a partir de las reuniones promovidas por el franciscano Marin Mersenne, que tuvieron resonancia en toda Europa. En Rusia, Pedro el Grande fundó en 1724 la Academia de San Petersburgo. En Alemania hubo varios intentos privados en Rostoch, pero no se constituyó la Academia de Berlín hasta 1700, por orden de Federico de Prusia y gracias a las gestiones de Leibniz. Las Academias rusa y alemana se nutrieron en sus comienzos de savants franceses y suizos, hasta el extremo de que el francés fue el idioma oficial de ellas; por una y otra pasaron Maupertius, Voltaire, Lagrange, los Bernouilli y Euler.

Maupertuis, Pierre Louis Moreau de (Saint Malo, Francia, 1698–Basilea, Suiza, 1759) Matemático y astrónomo francés. En 1731 fue nombrado miembro de la Academia de las Ciencias de París, desde cuyo atrio se convirtió en uno de los más firmes defensores de la Teoría de la Gravitación de Newton.

En 1736 dirigió una expedición a Laponia para medir la longitud de un arco de meridiano terrestre de 1° de longitud angular con tal de verificar la hipótesis newtoniana de que la Tierra es una esfera achatada por los polos. El éxito de la expedición le valió el ser nombrado miembro de la Academia de las Ciencias de Berlín y, más tarde, su presidente.

En 1744 enunció el principio de la mínima acción a partir de la hipótesis de Fermat sobre el comportamiento de los rayos luminosos, según la cual, cuando la luz atraviesa varios medios de distinta densidad, sigue el camino por el cual el tiempo de recorrido es mínimo (camino óptico).

El clérigo John Wilkins (1614–1672) organizó en Londres, en 1644, el Colegio Invisible o Colegio Filosófico, al que pertenecieron teólogos, astrónomos, médicos y filósofos experimentales tan destacados como Boyle. Durante la reforma de la Universidad de Oxford por Cromwell, con más criterio político que científico, Wilkins fue llamado a Oxford para desempeñar una cátedra. Allí fundó la Sociedad Filosófica en la que se integraron los más entusiastas de la nueva Filosofía. Pero en 1660, Carlos II devuelve a Londres la capitalidad y su importancia anterior como foco cultural y científico. Y a Londres vuelven los baconianos de Oxford, que, reunidos en el Gresham College, proponen la fundación de un Colegio para la promoción del saber físico–matemático experimental, que aprobado por Carlos II se convirtió en la Royal Society, de la que Newton fue nombrado miembro en 1671 y presidente desde 1703 hasta su muerte.

Lagrange, Joseph–Louis de (Turín, 1736–París, 1813) Matemático francés de origen italiano. Estudió en su ciudad natal y hasta los diecisiete años no mostró ninguna aptitud especial para las Matemáticas. Sin embargo, la lectura de una obra del astrónomo inglés Edmund Halley despertó su interés y, tras un año de incesante trabajo, era ya un matemático consumado. Nombrado profesor de la Escuela de Artillería, en 1758 fundó una sociedad, con la ayuda de sus alumnos, que fue incorporada a la Academia de Turín. En su obra Miscellanea taurinensia, escrita por aquellos años, obtuvo, entre otros resultados, una ecuación diferencial general del movimiento y su adaptación para el caso particular del movimiento rectilíneo y la solución a muchos problemas de Dinámica mediante el cálculo de variantes. Escribió así mismo numerosos artículos sobre cálculo integral y las ecuaciones diferenciales generales

del movimiento de tres cuerpos sometidos a fuerzas de atracción mutuas. A principios de 1760 era ya uno de los matemáticos más respetados de Europa, a pesar del flagelo de una salud extremadamente débil. Su siguiente trabajo sobre el equilibrio lunar, donde razonaba la causa de que la Luna siempre mostrara la misma cara, le supuso la concesión, en 1764, de un premio por la Academia de Ciencias de París. Hasta que se trasladó a la capital francesa en 1787, escribió gran variedad de tratados sobre Astronomía, resolución de ecuaciones, cálculo de determinantes de segundo y tercer orden, ecuaciones diferenciales y Mecánica analítica. En 1795 se le concedió una cátedra en la recién fundada École Normale, que ocupó tan solo durante cuatro meses. Dos años más tarde, tras la creación de la École Polytechnique, Lagrange fue nombrado profesor, y quienes asistieron a sus clases las describieron como «perfectas en forma y contenido». Sus enseñanzas sobre cálculo diferencial forman la base de sus obras Teoría de las funciones analíticas y Resolución de ecuaciones numéricas (1798). En 1810 inició una revisión de su Teoría, pero sólo pudo concluir dos terceras partes antes de su muerte.

.

En Francia, los más afines a la Filosofía experimental eran considerados en la Academia como ciudadanos de segunda clase. Hasta 1785 no hubo en la Academia francesa una sección de Física experimental, y no en el Departamento de Ciencias Físicas (Anatomía, Química, Metalurgia, Botánica, Agricultura, Historia natural y Mineralogía), sino en el Departamento de Matemáticas (Geometría, Astronomía y Mecánica).

Bernoulli, familia Jakob (Basilea, Suiza, 1654– id., 1705), Johann (Basilea, 1667– id., 1748) y Daniel (Groninga, Holanda, 1700– Basilea, 1782). Familia de científicos suizos. Jakob, el iniciador de la dilatada saga de los Bernoulli, nació en el seno de una familia de comerciantes procedentes de los Países Bajos.

Tras licenciarse en Teología y haber estudiado Matemáticas y Astronomía contra la voluntad familiar, entre 1677 y 1682 viajó a Francia (donde se familiarizó con el pensamiento de Descartes), los Países Bajos e Inglaterra. De regreso en Suiza, desde 1683 enseñó Mecánica en Basilea y en secreto introdujo en el estudio de las Matemáticas a su hermano Johann, a quien su padre había destinado a la Medicina. En 1687 se hizo cargo de la cátedra de Matemáticas en la Universidad de Basilea. Con su hermano, estudió las aportaciones de G. W. Leibniz al cálculo infinitesimal, el cual aplicó al estudio de la catenaria (la curva que forma una cadena suspendida por sus extremos), y en 1690 introdujo el término de integral en su sentido moderno.

Al año siguiente, Johann solucionó el problema de la catenaria, lo cual le valió situarse entre los matemáticos de primera línea de la época; de los dos hermanos, él fue el más intuitivo y el que con mayor soltura manejaba el formulismo matemático, mientras que Jakob era de inteligencia más lenta pero más penetrante. Ambos compartieron un exagerado afán por ver reconocidos sus méritos, e incluso mantuvieron frecuentes disputas de prioridad entre ellos y con otros autores. Johann inició en el cálculo infinitesimal creado por Leibniz al marqués de L'Hôpital, quien aprovechó las lecciones para publicar el primer libro de texto sobre el tema. En 1695, Johann decidió aceptar el ofrecimiento de ocupar una cátedra de Matemáticas en Groninga, perdidas las esperanzas de obtener plaza en Basilea en vida de su hermano Jakob, y resentido con él por la actitud condescendiente con que lo trataba.

En 1697, Johann dio una brillante solución al problema de la braquistócrona, que él mismo había planteado el año anterior. Jakob analizó también la cuestión y aportó su propia solución, mucho menos elegante, pero que lo condujo a las puertas de una nueva disciplina, el cálculo de variaciones, en cuyo ámbito propuso a su vez el llamado problema isoperimétrico. Johann subestimó la complejidad del tema, que resolvió de forma incompleta; las despiadadas críticas que por ello le dedicó su hermano

supusieron el inicio del abierto enfrentamiento entre ambos.

Johann regresó a Basilea como sucesor de Jakob a la muerte de éste, debido a la cual quedó incompleta e inédita su gran obra sobre el cálculo de probabilidades, el *Ars coniectandi*, publicada en 1713 por su sobrino Nikolaus, hijo de Johann y hermano mayor de Daniel Bernoulli. Este último, que se doctoró en Medicina en Basilea (1721) con una tesis sobre la respiración, en 1725 fue nombrado profesor de Matemáticas en la Academia de San Petersburgo; se trasladó a Rusia en compañía de su hermano Nikolaus, quien falleció al año siguiente de su llegada; en San Petersburgo contó, desde 1727, con la colaboración de L. Euler, discípulo de su padre y de su tío Jakob, que sucedió a Daniel cuando, en 1732, éste regresó a Basilea como catedrático de Anatomía y de Botánica.

Autor de notables contribuciones a la teoría de las ecuaciones diferenciales, el tercer Bernoulli destacó sobre todo por su estudio de la Mecánica de fluidos; su obra principal, *Hydrodynamica*, se publicó en 1738, aunque ya la había concluido en 1734. Contiene la idea de lo que más tarde se conoció como teorema de Bernoulli, así como los fundamentos de la moderna Teoría Cinética de los Gases. Desde 1750 hasta 1776 ocupó la cátedra de Física en Basilea; se distinguió por ilustrar sus clases con interesantes experimentos que le valieron grandes éxitos de audiencia.

..

LA COMUNIDAD CIENTIFICA CRECE, SE AGRUPA Y VIGORIZA

Casi todas las sociedades publicaron revistas o boletines para intercambio y difusión de la Ciencia. Incluso hubo quienes se decidieron a publicar por su cuenta los resultados de sus investigaciones. Así lo hizo Leibniz, quien fundó con Otto Mencke en 1682, las *Acta Eruditorum*, donde a partir de 1684 dio a conocer su formulación de cálculo infinitesimal, de idéntico contenido a la Teoría de Fluxiones de Newton, con quien mantuvo disputas por cuestiones de prioridad, pero con una notación más clara que la de éste. La notación diferencial de Leibniz es la que empleamos actualmente.

Hacia 1690, la Ciencia se había establecido de un modo definitivo. Había adquirido un prestigio enorme, al menos en las capas superiores de la sociedad de la época. Tenía su organización en la Royal Society y en la Académie Royale des Sciences, íntimamente unidas por lazos personales a los poderes dirigentes. Había desarrollado una disciplina coherente de experimentación y cálculo, método que permitía resolver cualquier problema tarde o temprano.

..

Euler, Leonhard (Basilea, Suiza, 1707–San Petersburgo, 1783) Matemático suizo. Las facultades que desde temprana edad demostró para las Matemáticas pronto le ganaron la estima del patriarca de los Bernoulli, Johann, uno de los más eminentes matemáticos de su tiempo y profesor de Euler en la Universidad de Basilea.

Tras graduarse en dicha institución en 1723, cuatro años más tarde fue invitado personalmente por Catalina I para convertirse en asociado de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, donde coincidió con otro miembro de la familia Bernoulli, Daniel, a quien en 1733 relevó en la cátedra de Matemáticas. A causa de su extrema dedicación al trabajo, dos años más tarde perdió la visión del ojo derecho, hecho que no afectó ni a la calidad ni al número de sus hallazgos. Hasta 1741, año en que por invitación de Federico el Grande se trasladó a la Academia de Berlín, refinó los métodos y las formas del cálculo integral (no sólo gracias a resultados novedosos, sino también a un cambio en los habituales métodos de demostración geométricos, que sustituyó por métodos algebraicos), que convirtió en una herramienta de fácil aplicación a problemas de Física.

Con ello configuró en buena parte las Matemáticas aplicadas de la centuria siguiente (a las que contribuiría luego con otros resultados destacados en el campo de la Teoría de las ecuaciones diferenciales lineales), además de desarrollar la Teoría de las funciones trigonométricas y logarítmicas (introduciendo de paso la notación e para definir la base de los logaritmos naturales). En 1748 publicó la obra *Introductio in analysim infinitorum*, en la que expuso el concepto de función en el marco del análisis matemático, campo en el que así mismo contribuyó de forma decisiva con resultados como el Teorema sobre las funciones homogéneas y la Teoría de la convergencia. En el ámbito de la Geometría desarrolló conceptos básicos como los del ortocentro, el circuncentro y el baricentro de un triángulo, y revolucionó el tratamiento de las funciones trigonométricas al adoptar ratios numéricos y relacionarlos con los números complejos mediante la denominada identidad de Euler; a él se debe la moderna tendencia a representar cuestiones matemáticas y físicas en términos aritméticos.

En el terreno del Algebra obtuvo así mismo resultados destacados, como el de la reducción de una ecuación cúbica a una bicuadrada y el de la determinación de la constante que lleva su nombre. A lo largo de sus innumerables obras, tratados y publicaciones introdujo gran número de nuevas técnicas y contribuyó sustancialmente a la moderna notación matemática de conceptos como función, suma de los divisores de un número y expresión del número imaginario raíz de menos uno.

También se ocupó de la Teoría de números, campo en el cual su mayor aportación fue la Ley de la reciprocidad cuadrática, enunciada en 1783. A raíz de ciertas tensiones con su patrón Federico el Grande, regresó nuevamente a Rusia en 1766, donde al poco de llegar perdió la visión del otro ojo. A pesar de ello, su memoria privilegiada y su prodigiosa capacidad para el tratamiento computacional de los problemas le permitieron continuar su actividad científica; así, entre 1768 y 1772 escribió sus *Lettres à une princesse d'Allemagne*, en las que expuso concisa y claramente los principios básicos de la Mecánica, la Óptica, la Acústica y la Astrofísica de su tiempo.

De sus trabajos sobre Mecánica destacan, entre los dedicados a la Mecánica de fluidos, la formulación de las ecuaciones que rigen su movimiento y su estudio sobre la presión de una corriente líquida, y, en relación a la Mecánica celeste, el desarrollo de una solución parcial al problema de los tres cuerpos, resultado de su interés por perfeccionar la teoría del movimiento lunar, así como la determinación precisa del centro de las órbitas elípticas planetarias, que identificó con el centro de la masa solar. Tras su muerte, se inició un ambicioso proyecto para publicar la totalidad de su obra científica, compuesta por más de ochocientos tratados, lo cual lo convierte en el matemático más prolífico de la historia.

•

26

1

26