

Físicos en la historia:

- Albert Einstein

Albert Einstein (1879–1955), físico alemán nacionalizado estadounidense, premiado con un Nobel, famoso por ser el autor de las teorías general y restringida de la relatividad y por sus hipótesis sobre la naturaleza corpuscular de la luz. Es probablemente el científico más conocido del siglo XX.

Nació en Ulm el 14 de marzo de 1879 y pasó su juventud en Munich, donde su familia poseía un pequeño taller de máquinas eléctricas. Ya desde muy joven mostraba una curiosidad excepcional por la naturaleza y una capacidad notable para entender los conceptos matemáticos más complejos. A los doce años ya conocía la geometría de Euclides.

A la edad de 15 años, cuando su familia se trasladó a Milán, Italia, a causa de sucesivos fracasos en los negocios, Einstein abandonó la escuela. Pasó un año con sus padres en Milán y viajó a Suiza, donde terminó los estudios secundarios e ingresó en el Instituto Politécnico Nacional de Zurich.

Durante dos años Einstein trabajó dando clases particulares y de profesor suplente. En 1902 consiguió un trabajo estable como examinador en la Oficina Suiza de Patentes en Berna.

2 PRIMERAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

En 1905 se doctoró en la Universidad de Zurich, con una tesis sobre las dimensiones de las moléculas; también publicó cuatro artículos teóricos de gran valor para el desarrollo de la física del siglo XX. En el primero de ellos, sobre el movimiento browniano, formuló predicciones importantes sobre el movimiento aleatorio de las partículas dentro de un fluido, predicciones que fueron comprobadas en experimentos posteriores. El segundo artículo, sobre el efecto fotoeléctrico, anticipaba una teoría revolucionaria sobre la naturaleza de la luz. Según Einstein, bajo ciertas circunstancias la luz se comportaba como una partícula. También afirmó que la energía que llevaba toda partícula de luz, denominada fotón, era proporcional a la frecuencia de la radiación. Lo representaba con la fórmula $E = hu$, donde E es la energía de la radiación, h una constante universal llamada constante de Planck y u es la frecuencia de la radiación. Esta teoría, que planteaba que la energía de los rayos luminosos se transfería en unidades individuales llamadas cuantos, contradecía las teorías anteriores que consideraban que la luz era la manifestación de un proceso continuo. Las tesis de Einstein apenas fueron aceptadas. De hecho, cuando el físico estadounidense Robert Andrews Millikan confirmó experimentalmente sus tesis casi una década después, éste se mostró sorprendido e inquieto por los resultados.

Einstein, interesado por comprender la naturaleza de la radiación electromagnética, propugnó el desarrollo de una teoría que fusionara las ondas y partículas de la luz. De nuevo fueron muy pocos los científicos que comprendieron y aceptaron estas ideas.

3 TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN

La tercera publicación de Einstein en 1905, *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, y la cuarta titulada *¿Depende la inercia de un cuerpo de la energía que contiene?*, formulaban lo que después llegó a conocerse como la teoría especial de la relatividad (o teoría restringida de la relatividad). Desde los tiempos del matemático y físico inglés Isaac Newton, los filósofos de las ciencias naturales (nombre que recibían los físicos y químicos) habían intentado comprender la naturaleza de la materia y la radiación, y su interacción en algunos modelos unificados del mundo. La hipótesis que sostenía que las leyes mecánicas eran fundamentales se denominó visión mecánica del mundo. La hipótesis que mantenía que eran las leyes

eléctricas las fundamentales recibió el nombre de visión electromagnética del mundo. Ninguna de las dos concepciones era capaz de explicar con fundamento la interacción de la radiación (por ejemplo, la luz) y la materia al ser observadas desde diferentes sistemas de inercia de referencia, o sea, la interacción producida en la

observación simultánea por una persona parada y otra moviéndose a una velocidad constante.

En la primavera de 1905, tras haber reflexionado sobre estos problemas durante diez años, Einstein se dio cuenta de que la solución no estaba en la teoría de la materia sino en la teoría de las medidas. En el fondo de su teoría restringida de la relatividad se encontraba el hallazgo de que toda medición del espacio y del tiempo es subjetiva. Esto le llevó a desarrollar una teoría basada en dos premisas: el principio de la relatividad, según el cual las leyes físicas son las mismas en todos los sistemas de inercia de referencia, y el principio de la invariabilidad de la velocidad de la luz, según el cual la velocidad de la luz en el vacío es constante. De este modo pudo explicar los fenómenos físicos observados en sistemas de inercia de referencia distintos, sin tener que entrar en la naturaleza de la materia o de la radiación y su interacción, pero nadie entendió su razonamiento.

En su cuarto artículo, Einstein dedujo la famosísima fórmula $E = m \cdot c^2$ que relaciona la energía (E) con la masa (m) y la velocidad de la luz (c). Como el valor de c es muy elevado, una pequeña masa equivale a una gran cantidad de energía.

4 PRIMERAS REACCIONES A EINSTEIN

La dificultad de otros científicos para aceptar la teoría de Einstein no estribaba en sus complejos cálculos matemáticos y su dificultad técnica, sino que partía del concepto que tenía Einstein de las buenas teorías y su relación con la experimentación. Aunque sosténía que la única fuente del conocimiento era la experiencia, también pensaba que las teorías científicas eran creaciones libres de una aguda intuición física, y que las premisas en que se basaban no podían aplicarse de un modo lógico al experimento. Una buena teoría sería, pues, aquella que necesitara los mínimos postulados para explicar un hecho físico. Esta escasez de postulados, característica de la obra de Einstein, provocó que su trabajo no fuera accesible para sus colegas, que le dejaron solo.

Aun así, tenía importantes seguidores. Su primer defensor fue el físico alemán Max Planck. Einstein permaneció cuatro años en la oficina de patentes, y luego empezó a destacar dentro de la comunidad científica, y así ascendió en el mundo académico de lengua alemana. Primero fue a la Universidad de Zurich en 1909; dos años más tarde se trasladó a la Universidad de Praga, de lengua alemana, y en 1912 regresó al Instituto Politécnico Nacional de Zurich. Finalmente, en 1913 fue nombrado director del Instituto de Física Kaiser Guillermo en Berlín.

5 LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD

Antes de dejar la oficina de patentes, en 1907, Einstein ya trabajaba en la extensión y generalización de la teoría de la relatividad a todo sistema de coordenadas. Empezó con el enunciado del principio de equivalencia según el cual los campos gravitacionales son equivalentes a las aceleraciones del sistema de referencia. De este modo, una persona que viajara en un elevador o ascensor no podría en principio determinar si la fuerza que actúa sobre ella se debe a la gravedad o a la aceleración constante del ascensor. Esta teoría general completa de la relatividad no fue publicada hasta 1916. De acuerdo con ella, las interacciones entre los cuerpos, que hasta entonces se atribuían a fuerzas gravitacionales, se explican por la influencia de aquéllos sobre la geometría espacio–tiempo (espacio de cuatro dimensiones, una abstracción matemática en la que el tiempo se une, como cuarta dimensión, a las tres dimensiones euclídeas).

Basándose en la teoría general de la relatividad, Einstein pudo entender las variaciones hasta entonces inexplicables del movimiento de rotación de los planetas y logró predecir la inclinación de la luz de las estrellas al aproximarse a cuerpos como el Sol. La confirmación de este fenómeno durante un eclipse de Sol en 1919 fue toda una noticia y su fama se extendió por todo el mundo.

Einstein consagró gran parte del resto de su vida a generalizar su teoría. Su último trabajo, la teoría del campo unificado, que no tuvo demasiado éxito, consistía en un intento de explicar todas las interacciones físicas, incluidas la interacción electromagnética y las interacciones nucleares fuerte y débil, a través de la modificación de la geometría del espacio–tiempo entre entidades interactivas.

La mayoría de sus colegas pensaron que sus esfuerzos iban en dirección equivocada. Entre 1915 y 1930 la corriente principal entre los físicos era el desarrollo de una nueva concepción del carácter fundamental de la materia, conocida como la teoría cuántica. Esta teoría contempla la característica de la dualidad onda–partícula (la luz presenta las propiedades de una partícula, así como las de una onda), que Einstein había intuido como necesaria, y el principio de incertidumbre, que establece que la exactitud de los procedimientos de medición es limitada. Además, esta teoría suponía un rechazo fundamental a la noción estricta de causalidad. Sin embargo, Einstein mantuvo una posición crítica respecto a estas tesis hasta el final de su vida. Dios no juega a los dados con el mundo, llegó a decir.

6 CIUDADANO DEL MUNDO

A partir de 1919, Einstein recibió el reconocimiento internacional y acumuló honores y premios de distintas sociedades científicas, como el Nobel de Física en 1921. Sus visitas a países de todo el mundo, como la que realizó a España en 1923, impulsada por el matemático Julio Rey Pastor, o las que realizó a Argentina, Uruguay y Brasil en 1925, eran un acontecimiento; le seguían fotógrafos y periodistas.

El pacifismo y el sionismo fueron los dos movimientos sociales que recibieron todo su apoyo. Durante la I Guerra Mundial, Einstein fue uno de los pocos académicos alemanes que condenaron públicamente la participación de Alemania en el conflicto. Después de la guerra siguió con sus actividades pacifistas y sionistas, por lo que fue blanco de los ataques de grupos antisionistas y de derechas alemanes. Sus teorías llegaron a ser ridiculizadas en público, especialmente la de la relatividad.

Cuando Hitler llegó al poder en 1933, Einstein abandonó Alemania y emigró a Estados Unidos, donde ocupó un puesto en el Instituto de Estudios Superiores en Princeton, Nueva Jersey. Siguió con sus actividades en favor del sionismo pero abandonó su postura pacifista anterior a la vista de la amenaza que suponía para la humanidad el régimen nazi en Alemania.

En 1939 Einstein participó junto con otros físicos en la redacción de una carta dirigida al presidente Franklin D. Roosevelt en la que se pedía la creación de un programa de investigación sobre las reacciones en cadena. La carta, que sólo iba firmada por Einstein, consiguió acelerar la fabricación de la bomba atómica, en la que él no participó ni supo de su finalización. En 1945, cuando ya era evidente la existencia de la bomba, Einstein volvió a escribir al presidente para intentar disuadirlo de utilizar el arma nuclear.

Después de la guerra, Einstein se convirtió en activista del desarme internacional y del gobierno mundial, y siguió contribuyendo a la causa del sionismo, pero declinó una oferta de los líderes del Estado de Israel para ocupar el cargo de presidente. A finales de la década de 1940 y principios de la de 1950, defendió en Estados Unidos la necesidad de que los intelectuales del país hicieran todo lo posible para mantener la libertad política. Einstein murió el 18 de abril de 1955 en Princeton.

Los esfuerzos de Einstein en apoyo de causas sociales fueron a menudo percibidos como poco realistas. Sus propuestas nacían de razonamientos cuidadosamente elaborados. Al igual que sus teorías, eran fruto de una asombrosa intuición basada en cuidadosas y astutas valoraciones y en la observación. A pesar de su actividad

en favor de causas políticas y sociales, la ciencia siempre ocupó el primer lugar en su vida, pues, como solía decir, sólo el descubrimiento de la naturaleza del Universo tiene un sentido duradero. Entre sus obras se encuentran *La relatividad: la teoría especial y restringida* (1916); *Sobre el sionismo* (1931); *Los constructores del Universo* (1932); *¿Por qué la guerra?* (1933), con Sigmund Freud; *El mundo como yo lo veo* (1934); *La evolución de la Física* (1938) con el físico polaco Leopold Infeld, y *En mis últimos años* (1950). La colección de los artículos de Einstein comenzó a publicarse en 1987 en varios volúmenes.

- Charles de Coulomb

Charles de Coulomb (1736–1806), físico francés, pionero en la teoría eléctrica. Nació en Angulema y trabajó como ingeniero militar al servicio de Francia en las Indias Occidentales (actuales Antillas), pero se retiró a Blois (Francia) durante la Revolución Francesa para continuar con sus investigaciones en magnetismo, rozamiento y electricidad. En 1777 inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción magnética y eléctrica. Con este invento, Coulomb pudo establecer el principio, conocido ahora como ley de Coulomb, que rige la interacción entre las cargas eléctricas. En 1779 publicó el tratado *Teoría de las máquinas simples*, un análisis del rozamiento en las máquinas. Después de la Revolución, Coulomb salió de su retiro y ayudó al nuevo gobierno en la planificación de un sistema métrico decimal de pesos y medidas. La unidad de medida de carga eléctrica, el culombio, recibió este nombre en su honor.

- William Gilbert

William Gilbert (1544–1603), físico y médico inglés conocido sobre todo por sus experimentos originales sobre la naturaleza de la electricidad y el magnetismo. Nació en Colchester, Essex, y estudió en el Saint John's College de la Universidad de Cambridge. Comenzó a practicar la medicina en Londres en 1573 y en 1601 fue nombrado médico de Isabel I.

Gilbert descubrió que muchas sustancias tenían la capacidad de atraer objetos ligeros cuando se frotaban y aplicó el término eléctrica para la fuerza que ejercen estas sustancias después de ser frotadas. Fue el primero en utilizar términos como 'energía eléctrica', 'atracción eléctrica' y 'polo magnético'. Quizá su aportación más importante fue la demostración experimental de la naturaleza magnética de la Tierra. También fue el primer defensor en Inglaterra del sistema de Copérnico sobre la mecánica celeste y planteó que no todas las estrellas fijas están a la misma distancia de la Tierra. Su obra más importante fue *De Magnete* (1600), quizás la primera gran obra científica escrita en Inglaterra.

- Heinrich Hertz

Heinrich Hertz (1857–1894), físico alemán, nació en Hamburgo y estudió en la Universidad de Berlín. Desde 1885 hasta 1889 fue profesor de física en la Escuela Técnica de Karlsruhe, y después de 1889 en la Universidad de Bonn. Hertz clarificó y extendió la teoría electromagnética de la luz, que había sido formulada por el físico británico James Clerk Maxwell en 1884. Hertz demostró que la electricidad puede transmitirse en forma de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan a la velocidad de la luz y tienen además muchas de sus propiedades. Sus experimentos con estas ondas le condujeron al descubrimiento del telégrafo y la radio sin cables. La unidad de frecuencia se denominó hercio en su honor; su símbolo es Hz.

- James Prescott Joule

James Prescott Joule (1818–1889), físico británico, nacido en Salford (Lancashire). Uno de los más notables físicos de su época, es conocido sobre todo por su investigación en electricidad y termodinámica. En el transcurso de sus investigaciones sobre el calor desprendido en un circuito eléctrico, formuló la ley actualmente conocida como ley de Joule que establece que la cantidad de calor producida en un conductor por el paso de una corriente eléctrica cada segundo, es proporcional a la resistencia del conductor y al cuadrado de la intensidad de corriente. Joule verificó experimentalmente la ley de la conservación de energía en su estudio

de la conversión de energía mecánica en energía térmica.

Utilizando muchos métodos independientes, Joule determinó la relación numérica entre la energía térmica y la mecánica, o el equivalente mecánico del calor. La unidad de energía denominada julio se llama así en su honor; equivale a 1 vatio–segundo (*ver Unidades eléctricas*). Junto con su compatriota, el físico William Thomson (posteriormente lord Kelvin), Joule descubrió que la temperatura de un gas desciende cuando se expande sin realizar ningún trabajo. Este fenómeno, que se conoce como efecto Joule–Thomson, sirve de base a la refrigeración normal y a los sistemas de aire acondicionado.

Joule recibió muchos honores de universidades y sociedades científicas de todo el mundo. Sus *Escritos científicos* (2 volúmenes) se publicaron en 1885 y 1887 respectivamente.

- Isaac Newton

Isaac Newton (1642–1727), matemático y físico británico, considerado uno de los más grandes científicos de la historia, que hizo importantes aportaciones en muchos campos de la ciencia. Sus descubrimientos y teorías sirvieron de base a la mayor parte de los avances científicos desarrollados desde su época. Newton fue, junto al matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz, uno de los inventores de la rama de las matemáticas denominada cálculo. También resolvió cuestiones relativas a la luz y la óptica, formuló las leyes del movimiento y dedujo a partir de ellas la ley de la gravitación universal. *Ver Mecánica*.

Nació el 25 de diciembre de 1642 (según el calendario juliano vigente entonces; el 4 de enero de 1643, según el calendario gregoriano vigente en la actualidad), en Woolsthorpe, Lincolnshire. Cuando tenía tres años, su madre viuda se volvió a casar y lo dejó al cuidado de su abuela. Al enviudar por segunda vez, decidió enviarlo a una escuela primaria en Grantham. En el verano de 1661 ingresó en el Trinity College de la Universidad de Cambridge y en 1665 recibió su título de bachiller.

Después de una interrupción de casi dos años provocada por una epidemia de peste, Newton volvió al Trinity College, donde le nombraron becario en 1667. Recibió el título de profesor en 1668. Durante esa época se dedicó al estudio e investigación de los últimos avances en matemáticas y a la filosofía natural, que consideraba la naturaleza como un organismo de mecánica compleja. Casi inmediatamente realizó descubrimientos fundamentales que le fueron de gran utilidad en su carrera científica.

2 EL MÉTODO DE LAS FLUXIONES

Newton obtuvo en el campo de la matemáticas sus mayores logros. Generalizó los métodos que se habían utilizado para trazar líneas tangentes a curvas y para calcular el área bajo una curva, y descubrió que los dos procedimientos eran operaciones inversas. Uniéndolos en lo que él llamó el método de las fluxiones, Newton desarrolló en el otoño de 1666 lo que se conoce hoy como cálculo, un método nuevo y poderoso que situó a las matemáticas modernas por encima del nivel de la geometría griega.

Aunque Newton fue su inventor, no introdujo el cálculo en las matemáticas europeas. En 1675 Leibniz llegó de forma independiente al mismo método, al que llamó cálculo diferencial; su publicación hizo que Leibniz recibiera en exclusividad los elogios por el desarrollo de ese método, hasta 1704, año en que Newton publicó una exposición detallada del método de fluxiones, superando sus reticencias a divulgar sus investigaciones y descubrimientos por temor a ser criticado. Sin embargo, sus conocimientos trascendieron de manera que en 1669 obtuvo la cátedra Lucasiana de matemáticas en la Universidad de Cambridge.

3 ÓPTICA

La óptica fue otra área por la que Newton demostró interés muy pronto. Al tratar de explicar la forma en que surgen los colores llegó a la idea de que la luz del Sol es una mezcla heterogénea de rayos diferentes

representando cada uno de ellos un color distinto y que las reflexiones y refracciones hacen que los colores aparezcan al separar la mezcla en sus componentes. Newton demostró su teoría de los colores haciendo pasar un rayo de luz solar a través de un prisma, el cual dividió el rayo de luz en colores independientes.

En 1672 Newton envió una breve exposición de su teoría de los colores a la Royal Society de Londres. Su publicación provocó tantas críticas que confirmaron su recelo a las publicaciones, por lo que se retiró a la soledad de su estudio en Cambridge. En 1704, sin embargo, publicó su obra *Óptica*, en la que explicaba detalladamente su teoría.

4 LOS PRINCIPIOS

En agosto de 1684 la soledad de Newton se vio interrumpida por la visita de Edmund Halley, un astrónomo y matemático con el que discutió el problema del movimiento orbital. Newton había estudiado la ciencia de la mecánica como estudiante universitario y en esa época ya tenía ciertas nociones básicas sobre la gravitación universal. Como resultado de la visita de Halley, volvió a interesarse por estos temas.

Durante los dos años y medio siguientes, Newton estableció la ciencia moderna de la dinámica formulando las tres leyes del movimiento. Aplicó estas leyes a las leyes de Kepler sobre movimiento orbital formuladas por el astrónomo alemán Johannes Kepler y dedujo la ley de la gravitación universal. Probablemente, Newton es conocido sobre todo por su descubrimiento de la gravitación universal, que muestra cómo a todos los cuerpos en el espacio y en la Tierra les afecta la fuerza llamada gravedad. Publicó su teoría en *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687), obra que marcó un punto de inflexión en la historia de la ciencia, y con la que perdió el temor a publicar sus teorías.

La aparición de *Principios* también implicó a Newton en un desagradable episodio con el filósofo y físico Robert Hooke. En 1687 Hooke afirmó que Newton le había robado la idea central del libro: que los cuerpos se atraen recíprocamente con una fuerza que varía inversamente al cuadrado de la distancia entre ellos. Sin embargo, la mayor parte de los historiadores no aceptan los cargos de plagio de Hooke.

En el mismo año de 1687, Newton apoyó la resistencia de Cambridge contra los intentos del rey Jacobo II de Inglaterra por convertir la universidad en una institución católica. Después de la Revolución Gloriosa de 1688, que expulsó a Jacobo II de Inglaterra, la universidad eligió a Newton como uno de sus representantes en una convocatoria especial del Parlamento británico. Los cuatro años siguientes fueron de gran actividad para Newton, que animado por el éxito de *Principios*, trató de compendiar todos sus primeros logros en una obra escrita. En el verano de 1693 Newton mostró síntomas de una severa enfermedad emocional. Aunque recuperó la salud, su periodo creativo había llegado a su fin.

Las conexiones de Newton con los dirigentes del nuevo régimen de Inglaterra le llevaron a su nombramiento como inspector y más tarde director de la Casa de la Moneda en Londres, donde vivió hasta 1696. En 1703 fue elegido presidente de la Royal Society, un cargo que ocupó hasta el final de su vida. Como presidente, ordenó la inmediata publicación de las observaciones astronómicas del primer astrónomo real de Inglaterra John Flamsteed. Newton necesitaba estas observaciones para perfeccionar su teoría lunar; este tema le ocasionó ciertos conflictos con Flamsteed.

Newton también se implicó en una violenta discusión con Leibniz acerca de la prioridad de la invención del cálculo. Utilizó su cargo de presidente de la Royal Society para que se formara una comisión que investigara el tema, y él, en secreto, escribió el informe de la comisión que hacía a Leibniz responsable del plagio. Newton incluso recopiló la relación de acusaciones que esta institución había publicado. Los efectos de la disputa se alargaron casi hasta su muerte.

Además de su interés por la ciencia, Newton también se sintió atraído por el estudio de la alquimia, el misticismo y la teología. Muchas páginas de sus notas y escritos especialmente en los últimos años de su

carrera están dedicadas a estos temas. Sin embargo, los historiadores han encontrado poca relación entre estas inquietudes y sus trabajos científicos.

- Nicolás Copérnico

Nicolás Copérnico (1473–1543), astrónomo polaco, conocido por su teoría según la cual el Sol se encontraba en el centro del Universo y la Tierra, que giraba una vez al día sobre su eje, completaba cada año una vuelta alrededor de él. Este sistema recibió el nombre de heliocéntrico o centrado en el Sol (*ver Astronomía; Sistema Solar*).

2 INFANCIA Y EDUCACIÓN

Copérnico nació el 19 de febrero de 1473 en la ciudad de Thorn (hoy Toru), en el seno de una familia de comerciantes y funcionarios municipales. El tío materno de Copérnico, el obispo Ukasz Watzenrode, se ocupó de que su sobrino recibiera una sólida educación en las mejores universidades. Copérnico ingresó en la Universidad de Cracovia en 1491, donde comenzó a estudiar la carrera de humanidades; poco tiempo después se trasladó a Italia para estudiar derecho y medicina. En enero de 1497, Copérnico empezó a estudiar derecho canónico en la Universidad de Bolonia, alojándose en casa de un profesor de matemáticas llamado Domenico Maria de Novara, que influiría en sus inquietudes. Este profesor, uno de los primeros críticos sobre la exactitud de la *Geografía* del astrónomo del siglo II Tolomeo, contribuyó al interés de Copérnico por la geografía y la astronomía. Juntos observaron el 9 de marzo de 1497 la occultación (eclipse a causa de la Luna) de la estrella Aldebarán.

En 1500, Copérnico se doctoró en astronomía en Roma. Al año siguiente obtuvo permiso para estudiar medicina en Padua (la universidad donde dio clases Galileo, casi un siglo después). Sin haber acabado sus estudios de medicina, se licenció en derecho canónico en la Universidad de Ferrara en 1503 y regresó a Polonia.

3 REGRESO A POLONIA

Copérnico vivió en el palacio episcopal de su tío en Lidzbark Warminski entre 1503 y 1510, y trabajó en la administración de la diócesis y en las actividades contra los caballeros de la Orden Teutónica. Allí publicó su primer libro, una traducción del latín de cartas de ética de un autor bizantino del siglo VII, Teofilatos de Simocata. Entre 1507 y 1515 escribió un tratado breve de astronomía, *De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus* (más conocido como el *Commentariolus*), que no se publicaría hasta el siglo XIX. En esta obra sentó las bases de su nueva astronomía de concepción heliocéntrica.

Después de su traslado a Frauenburgo, en 1512, Copérnico tomó parte en la comisión del quinto Concilio Laterano para la reforma del calendario (1515); escribió un tratado sobre el dinero (1517) y empezó a trabajar en su obra principal, *De revolutionibus orbium caelestium* (*Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes*), que culminó en 1530 y fue publicada el 24 de mayo de 1543, poco antes de su muerte, por un editor luterano en Nuremberg, Alemania.

4 LA COSMOLOGÍA A PRINCIPIOS DEL SIGLO XVI

La cosmología anterior a la teoría de Copérnico postulaba un universo geocéntrico en el que la Tierra se encontraba estática en el centro del mismo, rodeada de esferas que giraban a su alrededor. Dentro de estas esferas se encontraban (ordenados de dentro hacia afuera): la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y, finalmente, la esfera exterior en la que estaban las llamadas estrellas fijas. Se pensaba que esta esfera exterior fluctuaba lentamente y producía el efecto de los equinoccios (*ver Eclíptica*).

En la antigüedad era difícil de explicar por cosmólogos y filósofos el movimiento aparentemente retrógrado de Marte, Júpiter y Saturno. En ocasiones, el movimiento de estos planetas en el cielo parecía detenerse, comenzando a moverse después en sentido contrario. Para poder explicar este fenómeno, los cosmólogos medievales pensaron que los planetas giraban en un círculo que llamaban epíclo, y el centro de cada epíclo giraba alrededor de la Tierra, trazando lo que denominaban una trayectoria deferente (*ver Sistema de Tolomeo*).

5

EL SISTEMA DE COPÉRNICO Y SU INFLUENCIA

La teoría de Copérnico establecía que la Tierra giraba sobre sí misma una vez al día, y que una vez al año daba una vuelta completa alrededor del Sol. Además afirmaba que la Tierra, en su movimiento rotatorio, se inclinaba sobre su eje (como un trompo). Sin embargo, aún mantenía algunos principios de la antigua cosmología, como la idea de las esferas dentro de las cuales se encontraban los planetas y la esfera exterior donde estaban inmóviles las estrellas. Por otra parte, esta teoría heliocéntrica tenía la ventaja de poder explicar los cambios diarios y anuales del Sol y las estrellas, así como el aparente movimiento retrógrado de Marte, Júpiter y Saturno, y la razón por la que Venus y Mercurio nunca se alejaban más allá de una distancia determinada del Sol. Esta teoría también sostenía que la esfera exterior de las estrellas fijas era estacionaria.

Una de las aportaciones del sistema de Copérnico era el nuevo orden de alineación de los planetas según sus períodos de rotación. A diferencia de la teoría de Tolomeo, Copérnico vio que cuanto mayor era el radio de la órbita de un planeta, más tiempo tardaba en dar una vuelta completa alrededor del Sol. Pero en el siglo XVI, la idea de que la Tierra se movía no era fácil de aceptar y, aunque parte de su teoría fue admitida, la base principal fue rechazada.

Entre 1543 y 1600 Copérnico contó con muy pocos seguidores. Fue objeto de numerosas críticas, en especial de la Iglesia, por negar que la Tierra fuera el centro del Universo. La mayoría de sus seguidores servían a la corte de reyes, príncipes y emperadores. Los más importantes fueron Galileo y el astrónomo alemán Johannes Kepler, que a menudo discutían sobre sus respectivas interpretaciones de la teoría de Copérnico. El astrónomo danés Tycho Brahe llegó, en 1588, a una posición intermedia, según la cual la Tierra permanecía estática y el resto de los planetas giraban alrededor del Sol, que a su vez giraba también alrededor de la Tierra.

Con posterioridad a la supresión de la teoría de Copérnico, tras el juicio eclesiástico a Galileo en 1633, que lo condenó por corroborar su teoría, algunos filósofos jesuitas la siguieron en secreto. Otros adoptaron el modelo geocéntrico y heliocéntrico de Brahe. En el siglo XVII, con el auge de las teorías de Isaac Newton sobre la fuerza de la gravedad, la mayoría de los pensadores en Gran Bretaña, Francia, Países Bajos y Dinamarca aceptaron a Copérnico. Los filósofos puros de otros países de Europa mantuvieron duras posturas contra él durante otro siglo más.

- Galileo (Galileo Galilei)

Galileo (Galileo Galilei) (1564–1642), físico y astrónomo italiano que, junto con el astrónomo alemán Johannes Kepler, comenzó la revolución científica que culminó con la obra del físico inglés Isaac Newton. Su nombre completo era Galileo Galilei, y su principal contribución a la astronomía fue el uso del telescopio para la observación y descubrimiento de las manchas solares, valles y montañas lunares, los cuatro satélites mayores de Júpiter y las fases de Venus. En el campo de la física descubrió las leyes que rigen la caída de los cuerpos y el movimiento de los proyectiles. En la historia de la cultura, Galileo se ha convertido en el símbolo de la lucha contra la autoridad y de la libertad en la investigación.

Nació cerca de Pisa el 15 de febrero de 1564. Su padre, Vincenzo Galilei, ocupó un lugar destacado en la revolución musical que supuso el paso de la polifonía medieval a la modulación armónica. Del mismo modo que Vincenzo consideraba que las teorías rígidas impedían la evolución hacia nuevas formas musicales, su hijo mayor veía la teología física de Aristóteles como un freno a la investigación científica. Galileo estudió

con los monjes en Vallombroso y en 1581 ingresó en la Universidad de Pisa para estudiar medicina. Al poco tiempo cambió sus estudios de medicina por la filosofía y las matemáticas, abandonando la universidad en 1585 sin haber llegado a obtener el título. Durante un tiempo dio clases particulares y escribió sobre hidrostática y el movimiento natural, pero no llegó a publicar nada. 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. En 1592 no le renovaron su contrato, posiblemente por oponerse a la filosofía aristotélica. Ese mismo año fue admitido en la cátedra de matemáticas de la Universidad de Padua, donde permaneció hasta 1610.

2 LOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS

En Padua, Galileo inventó un 'compás' de cálculo que resolvía problemas prácticos de matemáticas. De la física especulativa pasó a dedicarse a las mediciones precisas, descubrió las leyes de la caída de los cuerpos y de la trayectoria parabólica de los proyectiles, estudió el movimiento del péndulo e investigó la mecánica y la resistencia de los materiales. Apenas mostraba interés por la astronomía, aunque a partir de 1595 se inclinó por la teoría de Copérnico, que sostenía que la Tierra giraba alrededor del Sol desechando el modelo de Aristóteles y Tolomeo 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 oyó decir que en los Países Bajos habían inventado un telescopio. En agosto de ese año presentó al duque de Venecia un telescopio de una potencia similar a los modernos gemelos o binoculares. Su contribución en las operaciones navales y marítimas le supuso duplicar sus ingresos y la concesión del cargo vitalicio de profesor.

En diciembre de 1609 Galileo había construido un telescopio de veinte aumentos, con el que descubrió montañas y cráteres en la Luna. También observó que la Vía Láctea estaba compuesta por estrellas y descubrió los cuatro satélites mayores de Júpiter. En marzo de 1610 publicó estos descubrimientos en *El mensajero de los astros*. Su fama le valió el ser nombrado matemático de la corte de Florencia, donde quedó libre de sus responsabilidades académicas y pudo dedicarse a investigar y escribir. En diciembre de 1610 pudo observar las fases de Venus, que contradecían la astronomía de Tolomeo y confirmaban su aceptación de las teorías de Copérnico.

3 CONTROVERSIAS Y CONDENA ECLESIÁSTICA

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, aparecieron inmediatamente 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 Medici (que gobernaban Florencia y mantenían a Galileo) que la creencia de que la Tierra se movía constituía una herejía. En 1614, un sacerdote 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 la teoría 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.

4 FIGURA CUMBRE DE LA CIENCIA

La última obra de Galileo, *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 libro abrió el camino que llevó a Newton a formular la ley de la gravitación universal, que armonizó las leyes de Kepler sobre los planetas 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. Sin embargo, tuvieron más influencia sus libros *El mensajero de los astros* y el *Diálogo*, que abrieron nuevos campos en la astronomía. Más allá de su labor científica, Galileo destaca como defensor de una investigación libre de interferencias filosóficas y teológicas. Desde la publicación de la documentación completa del juicio contra Galileo en 1870, toda la responsabilidad de la condena a Galileo ha recaído tradicionalmente sobre la Iglesia católica de Roma, encubriendo la responsabilidad de los profesores de filosofía 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 del Vaticano.

- Benjamín Thompson

Thompson, conde de Rumford; Wobur, (1753–Auteil, 1814) físico y químico británico. Invento y desarrollo diversos instrumentos, tales como un termoscopio de aire, y un calorímetro de agua, y un fotómetro. Fundamentó la teoría mecánica del calor y demostró la falsedad de la teoría calórica.

- Christian Huygens

Físico y astrónomo holandés cuyos grandes aportes los realizó, en el campo de la dinámica y la óptica. Inventó el reloj de péndulo y, realizó la primera exposición de la teoría ondulatoria de la luz.

Fue descubridor de los anillos de Saturno y de Titán su satélite mayor.

Nació en el año de 1629 en una prominente familia en La Haya. Hijo de Constantin Huygens, una de las mas importantes figuras del renacimiento de Holanda.

Educado en la universidad de Leyden, Christian fue un amigo cercano de René Descartes, un invitado frecuente al hogar del científico holandés.

Su reputación sobre los trabajos sobre óptica y dinámica se difundió por toda Europa y en el año de 1663 fue elegido socio fundador de la Royal Society. Por invitación de Luis XIV, vivió en Francia desde 1666, y mientras permaneció en esa nación, Huygens fue uno de los fundadores de la academia de ciencias de Francia.

Construyó sus propios telescopios, con los que descubrió el satélite mayor de Saturno: Titán en 1655, las estrellas de la nebulosa de Orión en 1655, los anillos de Saturno en 1659 y las características de la superficie de Marte que lo llevaron a concluir la rotación de este planeta sobre su eje.

En 1673 en París, publicó Horologium Oscillatorium. En este trabajo describió una solución al problema del péndulo compuesto, para el cual calculó la longitud del péndulo simple equivalente. En la misma publicación obtuvo también una fórmula para calcular el período de oscilación de un péndulo simple y explicó sus leyes de la fuerza centrífuga para movimiento en un círculo.

De regreso en Holanda en 1681, construyó algunos lentes de grandes longitudes focales e inventó el ocular acromático para telescopios. Poco después de regresar de una visita a Inglaterra, donde se encontró con Newton, publicó su tratado sobre la teoría ondulatoria de la luz. Para él la luz era un movimiento vibratorio en el éter, que se difundía y producía la sensación de luz al tropezar con el ojo. Con base en su teoría, pudo deducir su teoría de las leyes de reflexión y de refracción y de explicar el fenómeno de la doble refracción.

Después de Newton se encuentra entre los más grandes científicos de la segunda mitad del siglo XVII, fue el primero en avanzar en el campo de la dinámica más allá del punto al que llegaron Galileo y Descartes. Fue Huygens quien resolvió en esencia el problema de la fuerza centrífuga. Hombre solitario, no atrajo estudiantes o discípulos y tardó mucho en publicar sus descubrimientos. Después de una larga enfermedad murió en el año de 1695.