

UNA CRONOLOGÍA MÍNIMA –SOBRE PERSONAJES, OBRAS Y ACONTECIMIENTOS – EN EL CONTEXTO DE LA ASIGNATURA “HISTORIA DE LA FÍSICA”

Además del lugar de nacimiento, en varios capítulos –sobre todo en los anteriores al siglo XX– también se hace referencia a la actividad intelectual y/o profesional de los personajes. Por comodidad para el lector, las aclaraciones –tanto geográficas como profesionales– se han hecho en términos actuales. Se incluye una breve explicación de cada referencia; siempre en el contexto del programa de la asignatura. Por ello, la relación no es exhaustiva y las aportaciones que se citan no son necesariamente las más relevantes de los respectivos personajes.



Biblioteca de Alejandría, tal como hoy se imagina que pudo ser.

I. CIENCIA GRIEGA EN GENERAL Y ALGUNOS ANTECEDENTES DE “LA NUEVA FÍSICA” DEL SIGLO XVII.

[Se incluye una ligera orientación para los lugares que no aparecen en los mapas incluidos al final de este apartado].

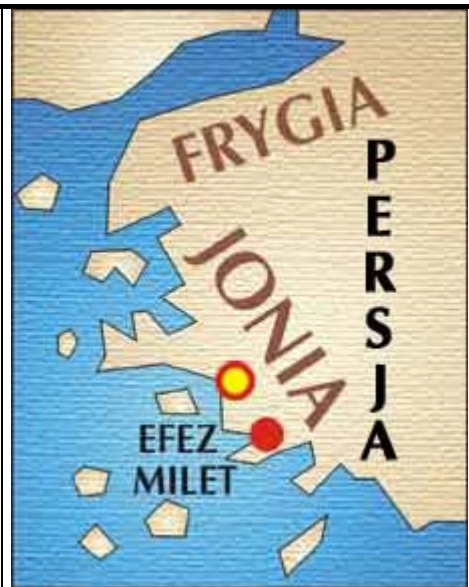
- **Tales** (ca. 624-ca. 545 a.C.), de Mileto. [Pasa por ser el más antiguo filósofo natural griego. “Materia primordial”: el agua. Predicción de un eclipse. Aportaciones notables a la geometría].
- **Anaximandro** (ca. 611-ca. 547 a.C.), de Mileto. [“Materia primordial”: una, ilimitada e indefinida. El primero en concebir un mapa de la Tierra –a la concebía con forma cilíndrica– habitada].
- **Anaxímenes** (ca. 570-ca. 500 a.C.), de Mileto. [“Materia primordial”: el aire (pneuma). Tierra plana sostenida por aire].
- **Pitágoras** (ca. 560-ca. 480 a.C.), de Samos, aunque creó escuela en Crotona. [Estudio de las propiedades de los números. El número expresa la figura y la extensión, propiedades básicas en el mundo físico. Tierra esférica].
- **Heráclito** (ca. 540-ca. 475 a.C.), de Éfeso. [“Materia primordial: el fuego. Defendió la idea de un universo en cambio continuo, hasta el punto de considerar que cada día se creaba un Sol diferente].
- **Parménides** (ca. 515-ca. 450 a.C.), de Elea. [Defendió la primacía de la razón sobre los sentidos como fuente de conocimiento. Negó el cambio y el movimiento, en contra de las ideas de Heráclito].
- **Anaxágoras** (ca. 500-ca. 428 a.C.), de Clazomene. [Solución continuista al tema de la “materia primordial”: está constituida por innumerables elementos, cada uno de los cuales está contenido –en mayor o menor proporción– en cualquier cuerpo].
- **Empédocles** (ca. 483-ca. 423 a.C.), de Agrigento (Sicilia). [Tierra plana. “Materia primordial”: los cuatro elementos (fuego, aire, tierra y agua)].
- **Zenón** (ca. 490-ca. 425 a.C.), de Elea. [Autor de varias paradojas –entre ellas la de Aquiles y la tortuga– donde se ponen de manifiesto diferentes problemas relativos a la subdivisión infinita].
- **Leucipo** (ca. 490-? a.C.), de Mileto (?). [Fundador de la doctrina atomista: en opinión de algunos, una forma –drástica– de resolver los problemas planteados por las paradojas de Zenón].
- **Filolao** (ca. 480-? a.C.), de Crotona. [El más famoso pitagórico. Además de su giro diurno, la Tierra –como el Sol y la Luna– se mueve alrededor de un fuego central].
- **Sócrates** (ca. 470-ca. 399 a.C.), de Atenas. [Seguidor en buena medida de Anaxágoras, fue más un filósofo moral que natural. Famoso por su forma crítica de rebatir argumentos a partir de un peculiar sentido de la ignorancia. Maestro de Platón].
- **Demócrito** (ca. 470-ca. 380 a.C.), de Abdera. [Desarrolla la doctrina atomista].
- **Hipócrates** (ca. 460-ca. 370 a.C.), de Cos. [Existen referencias notables y abundantes –sobre todo en las obras de Platón y de Aristóteles– a sus conocimientos sobre medicina. Se le considera el padre de la ciencia médica].
- **Platón** (ca. 428-c. 348 a.C.), de Atenas. [Planetas como divinidades; sus movimientos son combinaciones de movimientos circulares].
- **Eudoxo** (ca. 400-ca. 347 a.C.), de Cnido (Asia Menor). [Creador del modelo de las esferas concéntricas para el movimiento del Sol, la Luna y los planetas (5); 27 esferas].

- **Heráclides** (ca. 388-ca. 315 a.C.), de Ponto (Asia Menor). [Parece que propuso la rotación de Mercurio y Venus alrededor del Sol y de éste –como los demás planetas– alrededor de la Tierra que, a su vez, tiene un movimiento de rotación].
- **Aristóteles** (384-322 a.C.), de Stagira. [Movimientos celestes: modelo de Eudoxo con 56 esferas. Argumentos para justificar la esfericidad de la Tierra. Movimientos terrestres: tendencia hacia su “lugar natural” en los naturales y relaciones entre causas y efectos para los forzados].
- **Calipo** (ca. 370-ca. 300 a.C.), de Cizico. [Perfecciona el modelo de Eudoxo: 34 esferas].
- **Epicuro** (341-270 a.C.), de Samos. [Transforma el atomismo en un sistema filosófico; la carta a su discípulo Herodoto, junto al poema *De rerum natura* –de Lucrecio–, constituyen las fuentes primarias esenciales para el conocimiento de la doctrina epicúrea].
- **Zenón** (ca. 332-ca. 262 a.C.), de Citio (Chipre). [El primero de los estoicos. Como los epicúreos, tratan de explicar racionalmente el funcionamiento del mundo, esencialmente para lograr la paz interior. Pero parten de premisas diferentes: la continuidad del espacio, la materia y el cambio en general; consecuentemente niegan la existencia del vacío].
- **Euclides** (ca. 325-ca. 270 a.C.), de Alejandría. [Por sus *Elementos* es considerado el creador de la geometría como ciencia. También escribió un tratado sobre óptica geométrica].
- **Aristarco** (ca. 310-ca. 230 a.C.), de Samos. [Según Arquímedes, fue el introductor de la idea de que la Tierra gira sobre sí misma y alrededor del Sol].
- **Arquímedes** (287-212 a.C.), de Siracusa. [Tal vez el máximo exponente de la ciencia antigua, con aportaciones –varias aún vigentes– a las matemáticas, a la mecánica, a la hidrostática y a lo que hoy diríamos la técnica].
- **Eratóstenes** (ca. 276-ca. 195 a.C.), de Cirene. [A partir de la observación –en Alejandría– de la altura del Sol en el solsticio de verano, determinó el valor numérico de la longitud de la circunferencia terrestre].
- **Apolonio** (ca. 240-ca. 190 a.C.), de Perga. [Desarrolló extraordinariamente la geometría de las cónicas en 8 libros. Pasa por ser el primero en sugerir el sistema epiciclo-deferente].
- **Hiparco** (ca. 190-ca. 120 a.C.), de Nicea. [Desarrolló el sistema epiciclo-deferente, incluyendo las circunferencias excéntricas; descubrió la precesión de los equinoccios. Para algunos es el más grande de los astrónomos griegos].
- **Seleuco** (ca. 190-? a.C.), de Seleucia (Mesopotamia). [Siguió y divulgó la teoría heliocéntrica de Aristarco. Sugirió que la Luna era responsable de las mareas].
- **Lucrecio** Caro, T. (94-ca. 51 a.C.), de Roma (?). [En su célebre poema *De rerum natura* –6 libros– presenta una exposición didáctica y fiel de la física epicúrea, al tiempo que critica –entre otras– la doctrina aristotélica y la estoica].
- **Séneca** (ca. 3-65), de Córdoba. [Autor de *Cuestiones de la naturaleza*, dedicado esencialmente a discutir cuestiones relacionadas con la geografía, la astronomía y la meteorología de la ciencia griega].
- **Plinio** el Viejo (ca. 23-79), de Como, aunque pronto se estableció en Roma. [Autor de una *Historia natural* –37 volúmenes– con el más amplio contenido sobre la ciencia natural antigua y hasta la de su tiempo].
- **Plutarco** (45-125), de Cheronea. [En *De la cara de la Luna* –a través de discusiones entre adeptos a diferentes escuelas– presenta un compendio acreditado de la ciencia griega].

- **Herón** (ca. 75-?), de Alejandría. [Desarrolló la óptica geométrica; en particular, las propiedades y leyes de la reflexión. Empleó el aire comprimido para la construcción de máquinas bélicas].
- **Ptolomeo, Claudius** (ca. 100-ca. 170), de Tolemaide (?) (Egipto), aunque pronto se estableció en Alejandría. [Autor del famosísimo *Almagesto* (13 libros), título impuesto por los astrónomos árabes medievales. Su título griego original era *Compilación matemática*. Se tradujo al árabe hacia el 800 y al latín ya en el siglo XIII. Durante trece siglos constituyó la más rigurosa –e influyente– presentación astronómica, basada en la doctrina geocéntrica y con el empleo del sistema epiciclos-deferentes-excéntricas-ecuanes etc.].
- **Biblioteca de Alejandría.** Fundada por Ptolomeo I –tras sugerencias del filósofo griego peripatético Demetrio de Falera– hacia el año 290 a.C. El proyecto incluía un gran centro de ciencia; fue completamente acabado por Ptolomeo II, conociendo su esplendor bajo el reinado de Ptolomeo III. Fue destruida, hacia el 392, como consecuencia de desmanes –en parte incitados por el obispo Teófilo de Antioquía– producidos tras la decisión del emperador romano Teodosio de prohibir todas las religiones excepto el cristianismo.

ALGUNOS MAPAS DEL MUNDO ANTIGUO GRIEGO





II. ACERCA DEL NACIMIENTO Y DESARROLLO DE “LA NUEVA FÍSICA”: SIGLOS XVII Y XVIII.

- **Ockham**, William of (1288-1348), de Ockham, cerca de Londres; filósofo y teólogo franciscano. [La “navaja de Ockham” simboliza la drástica eliminación de lo superfluo: no se debe recurrir a explicaciones –no sólo físicas– utilizando más entidades e hipótesis, si lo mismo se puede explicar con menos].
- **Gutenberg**, Johan (1400-1468), de Mainz (Alemania); tipógrafo e inventor. [Inventor de la imprenta. Primera obra impresa: *La Biblia*, en 1455].
- **Copérnico**, Nicolás (1473-1543), de Torun (Polonia); astrónomo. [Nombre italianizado del autor de *De revolutionibus orbium coelestium* (1543), donde se expone un sistema heliocéntrico con la Tierra y los planetas girando en órbitas circulares alrededor del Sol –inmóvil– al tiempo que la Tierra da un giro completo, cada día, alrededor de su eje].
- **Lutero**, Martin (1483-1546), de Eisleben (Alemania); sacerdote y teólogo agustino. [Condena expresa –en 1539– de las ideas heliocéntricas, por ir contra lo expresado en las Sagradas Escrituras].
- **Gilbert**, William (1544-1603), de Colchester (Essex, Inglaterra); médico y científico experimental. [Autor del clásico *De magnete* (1600); un tratado de magnetismo donde se justifica que la Tierra se comporta como un imán gigantesco, con sus polos magnéticos próximos a los geográficos].
- **Brahe**, Tycho (1546-1601), de Knudstrup (Dinamarca, hoy en Suecia); astrónomo. [Numerosas y precisas observaciones sobre Marte que le llevaron a sugerir un sistema astronómico mixto: los planetas giran alrededor del Sol y éste gira alrededor de la Tierra inmóvil].
- **Bruno**, Giordano (1548-1600), de Nola, cerca de Nápoles; filósofo dominico. [Copernicano y defensor de la posible existencia de múltiples mundos como el nuestro. Atomista por lo que afecta a la composición de las cosas. Condenado a la hogera por la Santa Inquisición].
- **Bacon**, Francis (1561-1626), de Londres; político y filósofo. [Su *Novum organum* (1620) pronto se constituyó en un tratado sumamente influyente acerca de las esenciales características del conocimiento científico y de la forma de obtenerlo].
- **Concilio de Trento** (convocado en 1542, inaugurado en 1545 y clausurado en Bolonia en 1564). [Estableció –entre otras dogmas– la absoluta primacía de las Sagradas Escrituras, explicadas y completadas por el magisterio de la Iglesia].
- **Galileo** Galilei (1564-1642), de Pisa; astrónomo y físico. [Padre del moderno “método científico” –observación, experimentación, inducción-deducción, lenguaje matemático, contraste experimental, etc.–. Autor –entre otras obras clásicas– de *Sidereus nuncius* (1610), *Il saggiatore* (1623), *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) y *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze* (1638). Juicio y condena por el Santo Oficio en 1633].
- **Kepler**, Johannes (1571-1630), de Weil der Stadt (Württemberg, Alemania). [Copernicano. En *Mysterium cosmographicum* (1595) introduce un modelo planetario, con esferas y poliedros regulares. *Astronomia nova* (1609) contiene la formulación de sus dos primeras leyes y *De harmonice mundi* (1619) la de la tercera. Óptica geométrica en *Dioptrice* (1610)].
- **Snell**, Willebrord van Roijen (1581 o 1591-1626), de Leiden (Holanda); matemático y uno de los padres de la geodesia. [Primer proponente de la triangulación geodésica. Aunque en 1621 formuló –sobre una base experimental– la ley de la

refracción de la luz, no publicó el resultado; Huygens –en su *Dioptrica*, de 1703– se refirió al descubrimiento de Snell].

- **Gassendi**, Pierre (1592-1655), de Champtercier (Provence, Francia); sacerdote, filósofo y matemático. [Actualizador y defensor del atomismo de Epicuro. Autor de la gran compilación *Syntagma philosophicum* (1658). Primero en publicar la ley de inercia].
- **Descartes**, René (1596-1650), de La Haye (hoy Descartes, Touraine, Francia); filósofo y matemático. [Autor de, entre otros escritos, *Discours de la méthode* (1637) –con tres apéndices: *La dioptrique*, *Les météores* y *La géométrie*– y *Principia philosophiae* (1644). Postuló la conservación de la cantidad de movimiento y fue el primero en enunciar –no en publicar– la ley de inercia].
- **Fermat**, Pierre de (1601-1665), de Beaumont-de-Lomagne (Francia); político y matemático. [Formuló el principio de tiempo mínimo para la propagación de un rayo de luz. También hizo importantes contribuciones a la teoría de la probabilidad y a la teoría de números].
- **Huygens**, Christiaan (1629-1695), de La Haya (Holanda); matemático, físico y astrónomo. [Interesado en los problemas de la construcción de relojes. Resolución de diversos problemas relativos a movimientos pendulares en *Horologium oscillatorium* (1673). En *Traité de la lumière* (1690) aparece la primera teoría ondulatoria de la luz.].
- **Wren**, Christopher (1632-1723), de East Knoyle (Inglaterra); arquitecto y astrónomo. [En 1684 Halley, Hooke y Wren propusieron en públicamente un problema cuya solución habría de resultar esencial: deducir una ley de fuerzas que condujera a las órbitas elípticas de Kepler. El problema fue finalmente resuelto por Newton].
- **Hooke**, Robert (1635-1703), de Freshwater (isla de Wright, Inglaterra); matemático, físico, naturalista e inventor. [Maestro en el uso sistemático del microscopio, como muestra su *Micrographia* (1665). Aportaciones al campo de la mecánica –discusiones y polémicas con Newton–, especialmente al de la elasticidad].
- **Newton**, Isaac (1643¹-1727), de Woolsthorpe (Lincolnshire, Inglaterra); matemático y físico. [Autor de los famosísimos *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) –donde sienta las bases de la mecánica y de la gravitación– y de *Opticks* (1704), donde estudia las propiedades de la luz y de los colores desde una concepción corpuscular de aquella. Importantes aportaciones matemáticas: fundamentos del cálculo diferencial e integral –en su método de las fluxiones–, primeros pasos del cálculo de variaciones, estudio de las series infinitas, etc.].
- **Leibniz**, Gottfried Wilhelm von (1646-1716), de Leipzig (Alemania); filósofo, matemático y físico. [Desarrolló el cálculo diferencial en competencia –polémica incluida– con Newton. Postuló la conservación de la *vis viva*].
- **Halley**, Edmond (1656-1742), de Haggerston, cerca de Londres; matemático y astrónomo. [En 1682 caracterizó al cometa que lleva su nombre y que había aparecido ya en 1607. Por aplicación de la mecánica newtoniana, se predijo su reaparición en 1758; lo que efectivamente ocurrió].
- **The Royal Society**, creada oficialmente en 1660, el nombre lo adquirió en 1661. [Entre los fundadores se encuentran Wren y Boyle. Hooke fue el primer encargado de los asuntos experimentales. El primer presidente fue W. V. Brouncker (1662-1677). Newton presidió la sociedad entre 1703 y 1727].

¹ Nació el 4-I-1643, que corresponde al 25-XII-1642 del calendario *juliano*.

- **Maupertius**, Pierre-Louis Moreau de (1698-1759), de Saint Malo (Francia); filósofo, físico, matemático, geógrafo, astrónomo, biólogo, ... [Probablemente el autor de la primera formulación del principio de mínima acción en mecánica].
- **Euler**, Leonhard (1707-1783), de Basilea (Suiza); matemático y físico. [Además de desarrollar el álgebra, formalizó el cálculo de variaciones que poco después sería sistematizado por Lagrange].
- **Hume**, David (1711-1776), de Edinburgh; historiador y filósofo. [Autor de *A treatise of human nature* (3 vols., 1741-1742). Los razonamientos representan simples asociaciones entre sensaciones. Así, todo conocimiento proviene de la experiencia. La relación causa-efecto, básica para las leyes científicas, responde tan sólo a una forma cómoda de expresar relaciones entre sensaciones].
- **Cavendish**, Henry (1731-1810), de Niza, aunque pronto se estableció en Inglaterra; químico y físico. [El primero en medir la constante de la gravitación universal (1798). Probablemente llegó a deducir la ley de Coulomb –más o menos cuando éste la formuló–, aunque sin conocer sus trabajos; Maxwell “descubrió”, en 1879, los trabajos manuscritos de Cavendish].
- **Lagrange**, Giuseppe Luigi (1736-1813), de Turín, aunque de origen francés; matemático y físico. [En *Mécanique analytique* (1788) presenta una formulación de la mecánica newtoniana en términos de coordenadas generalizadas. En 1797 publica *Théorie des fonctions analytiques*. Aplicó y sistematizó el cálculo de variaciones en la línea introducida por Euler].
- **Herschel**, Friedrich Wilhelm (1738-1822), de Hannover, aunque pronto se trasladó a Inglaterra²; astrónomo. [Construyó los mejores telescopios de reflexión de la época, con los que hizo precisas observaciones. Entre estas destaca el descubrimiento del planeta Urano (1781) y de dos de sus satélites Titania y Oberon (1787). Determinó el periodo de rotación de Marte (1871) y elaboró un mapa de la galaxia, acerca de la cual esbozó una teoría propia. También descubrió la radiación infrarroja].
- **Laplace**, Pierre-Simon de (1749-1827), de Beaumont-en-Auge (Normandía, Francia); matemático y físico. [Autor de *Traité de mécanique celeste* (5 vols. entre 1799 y 1825), donde aplica la mecánica newtoniana a la astronomía. Por *Théorie analytique des probabilités* (1812) se le considera uno de los fundadores de la teoría matemática de la probabilidad; y en *Essai philosophique sur les probabilités* (1814) presenta una sistematización rigurosa de dicha teoría].

² De hecho su nombre suele verse escrito como William Herschel.

III. ORÍGENES DEL CONCEPTO DE CAMPO Y LA SÍNTESIS ELECTROMAGNÉTICA DE MAXWELL.

- **Franklin**, Benjamin (1706-1790), de Boston; político, inventor y físico. [Autor de un modelo “newtoniano” para la electricidad, con una sola clase de corpúsculos eléctricos. Inventor del pararrayos (1752). Publicó, en 1753, *Experiments and observations on electricity made at Philadelphia in America*. Es uno de los firmantes de la “Declaración de Independencia”, en 1776].
- **Boscovic**, Rudjer J. (1711-1787), de Ragusa (hoy Dubrovnik, Croacia); filósofo, físico y astrónomo. [A pesar de ser un newtoniano declarado, en *Theoria philosophiae naturalis teoria* (1758) introduce una innovación en el atomismo: la molécula es, a la vez, un centro de fuerzas de atracción y de repulsión, según la distancia a la que actúa; ello parece que pudo influir en las ideas de Faraday].
- **Kant**, Immanuel (1724-1804), de Königsberg, Prusia (hoy Kaliningrado, Rusia); filósofo. [Uno de los pensadores más influyentes de todos los tiempos. Autor de *Crítica de la razón pura* (1781), *Crítica de la razón práctica* (1788) y *Crítica del juicio* (1790); puso las bases para una crítica rigurosa de la física newtoniana].
- **Coulomb**, Charles Augustin de (1736-1806), de Angoulême (Francia); físico. [Especialista en elasticidad y electricidad, construyó una balanza de torsión con la que descubrió experimentalmente –1788 o 1789– la ley que lleva su nombre].
- **Volta**, Alessandro (1745-1827), de Como (Italia); físico y químico experimental. [En 1800 anuncia el descubrimiento de una fuente de fluido eléctrico –“pila de Volta”– de fácil construcción].
- **Ampère**, André Marie (1775-1836), de Poleymieux (Lyon); matemático y físico. [Newtoniano hasta las últimas consecuencias, desarrolló su teoría electromagnética a partir de la identificación entre imanes y electricidad en movimiento (1821). Autor de *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l’expérience* (1827). Primer intento de explicación microscópica del magnetismo].
- **Schelling**, Friedrich Wilhelm Joseph (1775-1854), de Leonberg (Württemberg, Alemania); filósofo. [Autor de *Naturphilosophie* (1799); esta obra suele ser considerada como la base filosófica en que se apoyó la noción de campo para imponerse a la idea newtoniana de la acción a distancia].
- **Ørsted**³, Hans Christian (1777-1851), de Rudkøbing (isla de Langeland, Dinamarca); físico y químico. [Descubridor del electromagnetismo, en 1820, al realizar un experimento que mostraba –mediante el empleo de la pila de Volta– que una aguja magnética era desviada por la influencia de la corriente eléctrica].
- **Ohm**, Georg Simon (1789-1859), de Erlangen (Alemania); físico. [En 1827 publicó el enunciado de la ley que lleva su nombre. La justificó en base a una concepción de la electricidad como fenómeno que se transmite entre “partículas contiguas”].
- **Faraday**, Michel (1791-1867), de Newington Butts, cerca de Londres; químico y físico. [Sus experimentos y sus ideas –especialmente sobre las “líneas de fuerza”, contra la “acción a distancia” newtoniana– sentaron las bases para que Maxwell lograra una formulación rigurosa del electromagnetismo].
- **Maxwell**, James Clerk (1831-1879), de Edinburgh; físico. [En *On Faraday’s lines of force* (1856), en *On physical lines of force* (1861-62) y, sobre todo, en *A treatise on electricity and magnetism* (1873) presenta la primera formulación rigurosa

³ También Oersted.

del electromagnetismo, basada en los experimentos y las ideas de Faraday. También realizó contribuciones importantes en otros campos: dinámica, teoría cinética de los gases, teoría de los colores, matemáticas, etc.].

- **William Thomson**⁴ (1824-1907), de Belfast (Irlanda); físico. [Sus ideas sobre electricidad y magnetismo, sobre movimientos de vórtices de fluidos y sobre la aplicación de una analogía mecánica en su teoría de la propagación del calor, parece que inspiraron diversas concepciones de Maxwell. Autor de *Nineteenth century clouds over the dynamical theory and light* (1900); la segunda nube se refería a las dificultades asociadas al éter].
- **Hertz**, Heinrich Rudolph (1857-1894), de Hamburgo; físico. [Detectó –en 1888– las ondas electromagnéticas predichas por la teoría de Maxwell; en el proceso de preparación de los correspondientes experimentos, descubrió el efecto fotoeléctrico, aunque sin llegar a caracterizarlo. Reformuló la teoría del campo electromagnético, presentándola en una forma más clara y simétrica en *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* (1892). Autor del influyente *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt* (1894).]
- **Duhem**, Pierre Maurice (1861-1916), de París; físico, filósofo e historiador. [Autor de *La théorie physique. Son objet, sa structure* (1906). Sus ideas sobre las teorías físicas –el electromagnetismo de Maxwell, entre ellas– han ejercido gran influencia a lo largo del siglo XX].

⁴ Lord Kelvin.

IV. DE LA TEORÍA CINÉTICA DEL CALOR A LA MECÁNICA ESTADÍSTICA.

- **Torricelli**, Evangelista (1608-1647), de Faenza (Italia); matemático y físico. [En 1644, con un hoy famoso experimento, demostró la existencia de la presión atmosférica, al mismo tiempo que sugería una forma de medirla; el experimento también apoyaba la idea de la existencia del vacío].
- **Pascal**, Blaise (1623-1662), de Clermont-Ferrand (Francia); filósofo, físico e inventor. [Estableció la disminución de la presión atmosférica con la altura y que la presión ejercida en un punto de un fluido se transmite íntegramente a los restantes (“principio de Pascal”)].
- **Bernoulli**, Daniel (1700-1782), de Groningen (Holanda), aunque pronto se estableció en Basilea (Suiza); matemático y físico. [Autor de la que se considera la primera aportación cuantitativa a la teoría cinética de los gases: estableció la relación –de proporcionalidad– entre la presión de un gas y el cuadrado de su velocidad molecular, en *Hydrodinamica* (1738). En esta misma aparece la relación entre presión, velocidad y nivel, para un fluido ideal en régimen estacionario (“ecuación fundamental de la hidrodinámica”)].
- **Boyle**, Robert (1627-1691), de Lismore (Irlanda); físico. [Trabajó en elasticidad y, sobre todo, en física del aire, al que caracterizó como una mezcla gaseosa. En *New experiments physico-mechanicall* (1662) aparece la que se ha dado en llamar “ley de Boyle-Mariotte”. Por su definición y concepción atómica de los elementos químicos, y por el rigor al realizar y analizar reacciones químicas reproducibles, muchos le consideran el fundador de la ciencia química].
- **Black**, Joseph (1728-1799), de Burdeos, aunque –de origen escocés– pronto se estableció en Escocia; médico, físico y químico. [Introducir de la idea de “calor latente”, según propia denominación (1760). Ello favorece la idea del calor como sustancia: “calórico”, como fue bautizado por Lavoisier].
- **Watt**, James (1736-1819), de Greenoch (Escocia); ingeniero e inventor. [En 1769 construyó la primera máquina de vapor con condensador separado del cilindro y regulador de la distribución de vapor (máquina de doble efecto). Era de alto rendimiento en comparación con los diseños anteriores del francés Denis Papin (1687) y de los británicos Thomas Savery (1698) y Thomas Newcomen (1712)].
- **Lavoisier**, Antoine Laurent (1743-1794), de París; químico. [Autor de *Traité élémentaire de chimie* (1789). Bautizó como “calórico” a la sustancia formada por partículas de calor. Renovó ventajosamente la nomenclatura química; se le considera el fundador de la ciencia química moderna].
- **Thompson**, Benjamin⁵ (1753-1814), de North Woburn, Massachusetts; militar y químico. [En *Experimental inquiry concerning the source of heat excited by friction* (1798), concibe el calor como movimiento molecular –contra la idea del “calórico”, la más extendida a comienzos del siglo XIX–. Midió relaciones entre calor absorbido y trabajo realizado en distintos sistemas físicos].
- **Dalton**, John (1766-1844), de Eaglesfield (Inglaterra); químico y físico. [En *New system of chemical philosophy* (1808) publica su teoría atómica: los elementos químicos son tipos concretos de átomos que, en las reacciones químicas, se combinan entre sí de acuerdo a la “ley de las proporciones múltiples” (Dalton, 1803). Adoptó una notación para los elementos y, con ella, expresó por primera vez los compuestos químicos mediante fórmulas].

⁵ Conde Rumford.

- **Fourier**, Jean Baptiste Joseph (1768-1830), de Auxerre (Francia); matemático y físico. [En *Théorie analytique de la chaleur* (1822) presenta su formulación de la propagación del calor. Pionero en el “análisis dimensional”, también realizó notables aportaciones a la teoría de funciones y a la de series trigonométricas].
- **Davy**, Humphry (1778-1829), de Penzance (West Cornwall, Inglaterra); químico. [Concibió el calor como movimiento, contra la idea del “calórico”; la más extendida a comienzos del siglo XIX. Por medios electroquímicos aisló diversas elementos (sodio, potasio, estroncio, bario, calcio, magnesio, ...). Tuvo como ayudante a Faraday, con el que discutió sobre la *Naturphilosophie* alemana].
- **Gay-Lussac**, Joseph Louis (1778-1850), de Saint Leonard de Noblat (Francia); político, químico y físico. [En 1802 descubrió las leyes que relacionan las variaciones de presión y de volumen con la temperatura –a volumen y presión constante, respectivamente– en los gases ideales. (Parece que a resultados análogos había llegado el francés J. A. C. Charles hacia 1786-87, pero sin llegar a publicarlos). En 1808 formuló la “ley de los volúmenes de combinación”].
- **Herapath**, John (1790-1868), de Bristol (Inglaterra); físico. [En *Mathematical inquiry into the causes, laws and principal phaenomena of heat, gases and gravitation* (1820) expuso sus ideas –altamente especulativas y escasamente consideradas en aquella época– acerca de una teoría cinética del calor. En particular obtuvo la misma relación entre presión y velocidad molecular de Bernoulli (1738), aunque sin conocer el resultado de éste].
- **Carnot**, Sadi Nicolas Léonard (1796-1832), de Paris; físico. [En *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propes à développer cette puissance* (1824) –basado en el calor como fluido– incluye la descripción de lo que luego se ha dado en llamar “ciclo de Carnot”. Influyó poderosamente –sobre todo a través de Lord Kelvin y de Clausius– al desarrollo de la termodinámica].
- **Waterston**, John James (1811-1883), de Edinburgh; físico. [En 1845 envió un trabajo a la Royal Society conteniendo la primera formulación del principio de equipartición de la energía. El trabajo no fue aceptado para su publicación. En 1892 Lord Rayleigh lo rescató del olvido y encargó su publicación].
- **Mayer**, Robert Julius von (1814-1878), de Heilbronn (Alemania); médico y físico. [En *Bemerkung über die Kräfte der unleben Natur* (1842) formula su concepto del calor como energía y establece la conservación de ésta como ley universal].
- **Joule**, James Prescott (1818-1889), de Salford (Inglaterra); físico. [En 1843 demostró experimentalmente que el calor es una forma de energía y midió el equivalente mecánico de la caloría. Formuló la ley que expresa el calor disipado en una resistencia eléctrica].
- **Rankine**, William John Macquorn (1820-1872), de Edinburgh; ingeniero y físico. [Interesado por el rendimiento de las máquinas, realizó aportaciones al desarrollo de la termodinámica. En 1853 desarrolló un modelo de vórtices moleculares que le permitió obtener la relación entre presión y velocidad molecular (Bernoulli, 1738)].
- **Loschmidt**, Josef (1821-1895), de Putschirn (hoy Pocerney, en la República Checa); físico. [En 1876 puso de manifiesto la aparente contradicción existente entre la irreversibilidad que contiene el “teorema-H” de Boltzmann (1872) y las bases mecánico-clásicas en las que su demostración parece apoyarse].
- **Helmholtz**, Herman Ludwig Ferdinand von (1821-1894), de Potsdam, cerca de Berlin; fisiólogo, matemático y físico. [En *Über die Erhaltung der Kraft* (1847) presenta una formulación definitiva del calor como forma de energía y de la ley universal de la conservación de la misma].

- **Krönig**, August Karl (1822-1879), de Schildesche (Alemania); físico y químico. [En 1856 dedujo la ecuación de los gases ideales con un modelo de esferas elásticas con velocidades iguales, descomponiendo el movimiento en tres direcciones perpendiculares equivalentes].
- **Clausius**, Rudolph Julius Emmanuel (1822-1888), de Köslin, en Prusia (hoy en Polonia); [En 1850 formula el segundo principio de la termodinámica en términos de imposibilidad de ciertas transformaciones. En 1865 lo reformula en términos de la entropía del sistema. *Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen* (1857) contiene las bases de la teoría cinética de los gases, de la que se le considera fundador indiscutible].
- **Thomson**, William⁶ (1824-1907), de Belfast (Irlanda); físico. [En 1848 propuso la escala de temperaturas absoluta que hoy lleva su nombre. En 1851 formuló un enunciado del segundo principio de la termodinámica. Autor de *Nineteenth century clouds over the dynamical theory and light* (1900); la primera nube se refería a las dificultades asociadas con los calores específicos de los sólidos].
- **Maxwell**, James Clerk (1831-1879), de Edinburgh; físico. [En 1860 dedujo la primera distribución de probabilidad para la velocidad de las moléculas de un gas ideal, así como el principio de equipartición de la energía. El “demonio de Maxwell” –ideado en 1867 (carta a Tait) y publicado en 1871 (*Theory of heat*)– ilustra la naturaleza estadística del segundo principio de la termodinámica. También realizó contribuciones importantes en otros campos: electromagnetismo, dinámica, teoría de los colores, matemáticas, etc.].
- **Mach**, Ernst (1838-1916), de Chirlitz-Turas, cerca de Brno (República Checa); filósofo y físico. [En *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (1883) somete a crítica la mecánica newtoniana –en particular los conceptos de masa y fuerza– sobre la premisa de que el objetivo de la física es describir y relacionar sensaciones sin presuponer elementos externos. Coherente con su enfoque fenomenológico negó la realidad de los átomos y rechazó la teoría cinética. Sus ideas empiricistas influyeron en Einstein, entre otros].
- **Gibbs**, Jossiah Willard (1839-1903), de New Haven (Connecticut); matemático, químico y físico. [Desarrolló y “geometrizó” la termodinámica en *On the equilibrium of heterogeneous substances* (1876-78). En *Elementary principles of statistical mechanics* (1902) aparece la formulación moderna de la mecánica estadística, en términos de colectividades. En *Vector analysis*, aparecido en 1901, expone su genuina e influyente versión del álgebra vectorial].
- **Principios de la termodinámica** (1842-1865):
 - Primer principio** (1842-1847). [Se trata de uno de los casos más famosos de “descubrimiento múltiple”. Los créditos iniciales se reparten entre Mayer (1842) y Joule (1843-47) por sus propuestas –independientes y con matices diferentes– del calor, el trabajo mecánico, la electricidad, etc. como distintas formas de lo que hoy llamamos energía y de la ley universal de la conservación de la misma. Helmholtz (1847), además de precisar todo lo anterior, conectó la conservación de la energía con la teoría cinética de la materia].
 - Segundo principio** (1850-1865). [En 1850 Clausius establece la imposibilidad de una transformación termodinámica cuyo único resultado sea el pasar calor de un cuerpo frío a otro más caliente. En 1851 Lord Kelvin establece la imposibilidad de una transformación termodinámica cuyo único resultado sea la completa conversión en trabajo del calor proveniente de una fuente a

⁶ Lord Kelvin.

temperatura constante; demostró que los dos enunciados anteriores son equivalentes. En 1865 Clausius lo formuló con mayor precisión matemática, en términos de la función entropía].

- **Boltzmann**, Ludwig (1844-1906), de Viena; físico. [Gran impulsor de la teoría cinética de los gases, de la que se considera el mayor exponente. En 1872 publicó la “ecuación de Boltzmann” y el “teorema-H”. En 1877 presentó su descripción probabilística del segundo principio de la termodinámica –incluida la relación entre entropía y descripción microscópica–, a la vez que introdujo el método combinatorio y sus “elementos de energía”, como herramientas de cálculo. *Vorlesungen über Gastheorie* (1895-98) es una compilación de sus ideas y aportaciones al campo de la teoría cinética, con aplicaciones incluidas]⁷.
- **Ostwald**, Friedrich Wilhelm (1853-1932), de Riga (Letonia); químico, físico y filósofo. [Premio Nobel de Química (1909) “en reconocimiento a su trabajo en catálisis y por sus investigaciones en los principios fundamentales que gobiernan los equilibrios químicos y las velocidades de las reacciones”. Principal defensor del “energeticismo”, doctrina opuesta al mecanicismo y, por tanto, a la teoría cinética de los gases, cuyas bases rechazaba].
- **Perrin**, Jean Baptiste (1879-1942), de Lille.⁸ [En 1895 demostró que los rayos catódicos estaban constituidos por partículas cargadas negativamente. Hacia 1910 comprobó experimentalmente las predicciones teóricas de Einstein, de 1905, acerca del movimiento browniano; ello se aceptó como la demostración experimental de la constitución molecular de la materia. Estos y otros trabajos acerca de suspensiones coloidales le llevaron a la obtención del Premio Nobel de 1926 “por su trabajo sobre la estructura discontinua de la materia, y especialmente por su descubrimiento del equilibrio de sedimentación”].
- **Zermelo**, Ernest (1871-1953), de Berlín; matemático y físico. [Sobre la base de un teorema mecánico de Poincaré (1893), en 1896 negó la validez de la explicación propuesta por la teoría cinética para la irreversibilidad termodinámica].

⁷ Véase también la referencia de Stefan, en el cap.VI

⁸ En 1940, tras la invasión alemana, emigró a Estados Unidos, donde vivió el resto de sus días.

V. ORIGEN Y DESARROLLO DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL.

- **Røemer**, Ole Christensen⁹ (1644-1710), de Århus (Dinamarca); astrónomo. [Observó que los eclipses de Io –el primer satélite de Júpiter– tenían diferente duración según la posición relativa entre la Tierra y Júpiter. Midió esa diferencia de tiempos y lo atribuyó a que la luz se propaga con velocidad finita (1675)].
- **Bradley**, James (1693-1762), de Sherborne (Inglaterra); astrónomo. [Tratando de medir el paralaje, descubrió la aberración estelar. La medida de ésta en γ *Draconis* le llevó –en 1728-29– a asignar a la luz una velocidad 10.000 veces mayor que la de traslación de la Tierra. Astrónomo real (1742-62)].
- **Young**, Thomas (1773-1829), de Milverton (Inglaterra); físico. [En *Outlines of experiments and enquiries respecting sound and light* (1800) se recogen una buena parte de los experimentos –entre ellos el de la “doble rendija”– que le llevaron a optar por una concepción ondulatoria de la luz. Explicó (1804) la aberración estelar en términos ondulatorios (el éter no participa del movimiento terrestre). Importantes aportaciones en elasticidad].
- **Arago**, Dominique François Jean (1786-1853), de Estagel (Pyrénées Orientales, Francia); político, físico y astrónomo. [Descubrió la polarización cromática y rotatoria de la luz. Encontró un “resultado negativo” al tratar de medir experimentalmente el movimiento de la Tierra respecto al éter].
- **Fresnel**, Augustin Jean (1788-1827), de Broglie (Francia); físico e ingeniero. [Desarrolló la teoría ondulatoria de la luz en la línea de Huygens-Young. Introdujo la noción de *arrastré parcial* del éter por los cuerpos transparentes (1818), para explicar el “resultado negativo” del experimento de Arago].
- **Foucault**, Jean Bernard Léon (1819-1868), de Paris; físico. [Colaborador de Fizeau y defensor de la naturaleza ondulatoria de la luz, midió su velocidad en distintos medios: resultaba inversamente proporcional al respectivo índice de refracción (1850). En 1851 demostró la rotación de la Tierra con un péndulo de 60m.].
- **Fizeau**, Armand Hippolyte Louis (1819-1896), de Paris; físico. [El primero en diseñar un experimento para medir la velocidad de la luz en el laboratorio. Numerosos experimentos hacia 1850 –sobre todo de interferencias y polarización– le permitieron confirmar la naturaleza ondulatoria de la luz; además determinó su velocidad en el aire y en medios en movimiento con una gran precisión].
- **Stokes**, George Gabriel (1819-1903), de Skreen (Irlanda); matemático y físico. [Aportaciones al cálculo vectorial y a la matematización de teorías físicas (hidrodinámica y elasticidad, entre otras). El “éter de Stokes” –arrastrado por la Tierra por fricción– es un ingenioso modelo que tuvo cierto protagonismo].
- **Morley**, Edward Williams (1838-1923), de Newark (Estados Unidos); físico y químico. [Colaborador de Michelson en el experimento que lleva el nombre de ambos (1887)].
- **FitzGerald**, George Francis (1851-1901), de Dublin (Irlanda); físico. [En 1889 –unos cinco años antes que Lorentz y de forma independiente– supuso la contracción de longitudes en la dirección del movimiento con el factor adecuado para explicar el resultado negativo del experimento de Michelson y Morley (1887)].
- **Michelson**, Albert Abraham (1852-1931), de Strzelno (Polonia), aunque pronto emigró a Estados Unidos; físico. [En colaboración con Morley, realizó el famoso experimento (1887) –que repitió en variadas circunstancias– cuyo

⁹ También se puede ver escrito Rømer o Roemer; y Olaus u Olaf.

- resultado se interpretó como ausencia de “viento del éter”. Premio Nobel de 1907 “por sus instrumentos ópticos de precisión y las investigaciones espectroscópicas y metrológicas que llevó a cabo con su ayuda”].
- **Lorentz**, Hendrik Antoon (1853-1928), de Arnhem (Holanda); físico. [En *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern* (1895) se recogen sus ideas electromagnéticas esenciales, incluida la “fuerza de Lorentz”. (Sus hoy famosas transformaciones no aparecieron hasta 1904). El clásico *The theory of electrons and its applications to the phenomena of light and radiant heat* se publicó en 1909. Presidió las cinco primeras sesiones de los Congresos Solvay. Premio Nobel de 1902 –compartido con Zeeman– “en reconocimiento al extraordinario servicio prestado con sus investigaciones acerca de la influencia del magnetismo en los fenómenos de radiación”].
 - **Poincaré**, Jules Henri (1854-1912), de Nancy (Francia); físico y matemático. [Notables aportaciones a la teoría de funciones y a la de ecuaciones en derivadas parciales. En *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (3 vols. entre 1892-99), se recogen sus aplicaciones de los métodos matemáticos a la astronomía. (Sugirió la posibilidad de caos en un sistema determinista). En 1905-6 publicó una versión de la teoría de la relatividad; en cierta forma comparable a la de Einstein, aunque ambas independientes. Entre sus influyentes escritos de divulgación sobre la ciencia figuran *La science et l'hypothèse* (1902), *La valeur de la science* (1905) y *Science et méthode* (1908)].
 - **Larmor**, Joseph (1857-1942), de Magheragall (Irlanda); físico. [Dedujo la precesión de la órbita de una partícula cargada en presencia de campo magnético (1897). *Aether and matter* (1900) contiene las transformaciones de Lorentz –aunque sin apenas relevancia– cuatro años antes de que éste las publicara].
 - **Planck**, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947), de Kiel (Alemania); físico. [Uno de los primeros valedores de la teoría de la relatividad especial de Einstein. En 1900 obtuvo la ley que lleva su nombre, para cuya deducción teórica introdujo la cuantización de la energía de un sistema de osciladores cargados. Autor del clásico *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung* (1906). Premio Nobel de 1918 “en reconocimiento a los servicios prestados al avance de la física por su descubrimiento de los quanta de energía”].
 - **Einstein**, Albert (1879-1955), de Ulm (Alemania); físico. [En 1905 –su *annus mirabilis*– publicó tres trabajos que le darían fama universal: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (hipótesis cuántica), *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen* (movimiento browniano) y *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (relatividad especial). En 1915 presentó su teoría general de la relatividad y en 1924-25 publicó sendos trabajos con la teoría cuántica de los gases ideales. Premio Nobel de 1921 “por sus servicios a la física teórica, y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico”].

VI. ORIGEN Y DESARROLLO DE LAS IDEAS CUÁNTICAS QUE CONDUJERON A LA FORMULACIÓN DE LA MECÁNICA ONDULATORIA.

- **Ångström**, Anders Jonas (1814-1874), de Lögdo (Suecia). [Autor de *On the Fraunhofer lines visible in the solar spectrum* (1919), determinó con enorme precisión –una parte en diez mil– la longitud de onda de más de mil rayas de Fraunhofer. Su nombre ha quedado asociado a una unidad de longitud equivalente a 10^{-10} m., del orden de magnitud de sus medidas espectrales].
- **Kirchhoff**, Gustav Robert (1824-1887), de Königsberg (hoy Kaliningrad, en Rusia). [Generalizó la ley de Ohm a circuitos complejos (1854). Explicó el origen de las líneas oscuras del espectro solar (absorción de ciertas longitudes de onda al atravesar la luz la atmósfera). El estudio de la emisión y absorción de radiación le llevó a formular en 1859 la ley que lleva su nombre].
- **Balmer**, Johann Jakob (1825-1898), de Lausen (Suiza). [Profesor de matemáticas en la escuela secundaria, se le recuerda por haber proporcionado una fórmula –en 1885– que expresaba las longitudes de onda del espectro visible del hidrógeno].
- **Stefan**, Josef (1835-1893), de Sankt Peter (Austria). [Entre otros temas, investigó en electromagnetismo, termodinámica y conducción del calor. En 1879 encontró experimentalmente la ley que lleva su nombre, junto al de Boltzmann, que fue el que la dedujo teóricamente en 1884. Stefan la aplicó a determinar la temperatura aproximada de la superficie solar].
- **Strutt**, John William¹⁰ (1842-1919), de Langford Grove (Inglaterra). [Especialista en dinámica de fluidos y en difusión –entre otras varias disciplinas–, en 1871 dio la primera explicación cuantitativa del color azul del cielo. Hacia 1900 propuso una ley de radiación –que Jeans corrigió con un factor multiplicativo– que jugó un importante papel en el desarrollo de las primeras ideas cuánticas. Premio Nobel de 1904 “por sus investigaciones de las densidades de los gases más importantes y por su descubrimiento del argón”].
- **Röntgen**, Wilhelm Conrad (1845-1923), de Lennep (Alemania). [En 1895 detectó los rayos X y pronto determinó características de su comportamiento experimental. Premio Nobel de 1901 (el primero que se concedió) “en reconocimiento de los extraordinarios servicios que ha prestado con el descubrimiento de los importantes rayos que posteriormente fueron bautizados con su nombre”].
- **Rydberg**, Johannes Robert (1854-1919, de Halmstad (Suecia). [Uno de los pioneros de la espectroscopia moderna, generalizó –en 1890– la fórmula de Balmer, hasta hacerla extensiva a elementos distintos del hidrógeno y al espectro completo].
- **Thomson**, Joseph John (1856-1940), de Cheetham Hill (Inglaterra). [En 1893 –experimentando con rayos catódicos– descubrió el electrón, midiendo la relación entre su carga y su masa. Hacia 1903 formuló un modelo atómico con electrones (“plum pudding model”). Premio Nobel de 1906 “en reconocimiento a los grandes méritos de sus investigaciones teóricas y experimentales acerca de la conducción de electricidad por los gases”].
- **Planck**, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947), de Kiel (Alemania). [Su interés por justificar la validez absoluta (no estadística) del segundo principio de la termodinámica le condujeron hasta el cuerpo negro. En 1900 obtuvo la ley que lleva su nombre, para cuya deducción teórica introdujo la cuantización de la energía de un sistema de osciladores cargados; no obstante, nunca llegó a pronunciarse decididamente a favor de una teoría cuántica. Autor del clásico

¹⁰ Lord Rayleigh.

- Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung* (1906). Premio Nobel de 1918 “en reconocimiento a los servicios prestados al avance de la física por su descubrimiento de los quanta de energía”].
- **Bragg**, William Henry (1862-1942), de Westward (Inglaterra). [Tras haber puesto de manifiesto M. von Laue la naturaleza ondulatoria de los rayos X, creó e impulsó –en colaboración con su hijo W. L. Bragg– un nuevo campo: el análisis de estructuras mediante rayos X. Premio Nobel de 1915–compartido con su hijo– “por sus servicios en el análisis de la estructura cristalina mediante rayos X”].
 - **Wien**, Wilhelm Karl Werner (1864-1928), de Gaffken (hoy Polonia). [En 1893 dedujo termodinámicamente la forma más general de la función que expresa la distribución espectral de la densidad de energía del cuerpo negro; de ella obtuvo la “ley del desplazamiento”. En 1896 propuso un candidato para aquella función. En 1898 parece que identificó una partícula de carga positiva y de igual masa que el átomo de hidrógeno (germen del protón que Rutherford introdujo en 1919). Premio Nobel de 1911 “por sus descubrimientos en relación con las leyes que gobiernan la radiación de calor”].
 - **Sommerfeld**, Arnold (1868-1951), de Königsberg (hoy Kaliningrad, en Rusia). [En 1915 extendió el modelo de Bohr a órbitas elípticas, deduciendo la “cuantización espacial”; teniendo en cuenta, además, la corrección relativista, obtuvo la estructura fina del hidrógeno. Formuló reglas de cuantización –también en 1915-16– para sistemas periódicos con varios grados de libertad. Autor del clásico *Atombau und Spektrallinien* (1919), la “Biblia” de la teoría cuántica antigua. Contribuciones a la teoría cuántica de los metales (1928)].
 - **Nernst**, Walter Hermann (1864-1941), de Briesen (hoy Wabrzezno, en Polonia). [Con aportaciones relevantes al campo de las bajas temperaturas, formuló en 1906 su “teorema del calor”, hoy conocido como “tercer principio de la termodinámica”. Sus relaciones personales con el industrial belga E. Solvay –y su interés por las ideas cuánticas de la primera década del siglo XX– fueron claves para la convocatoria del Primer Congreso Solvay en 1911. Premio Nobel (química) de 1920 “en reconocimiento de su trabajo en termoquímica”].
 - **Rutherford**, Ernest (1871-1937), de Spring Grove (Nueva Zelanda). [Especialista en radiaciones –propuso los nombres “alfa”, “beta”, “gamma” y otros–. Sus experimentos sobre difusión de partículas alfa le llevaron a proponer en 1911 un modelo planetario para el átomo. Figura destacada de la física atómica y precursor de la física nuclear, en 1919 realizó la primera reacción nuclear e introdujo definitivamente el protón; hacia 1920 también apuntó la existencia del neutrón (descubierto por Chadwick en 1932). Premio Nobel (química) de 1908 “por sus investigaciones acerca de la desintegración de los elementos y de la química de las sustancias radiactivas”].
 - **Langevin**, Paul (1872-1946), de Paris. [Especialista en radiaciones, piezoelectricidad y ultrasonidos, favoreció la introducción de la teoría de la relatividad –creador de la “paradoja de los gemelos” en 1911– y de la física cuántica en Francia. En 1908 propuso una ecuación diferencial estocástica, de gran influencia posterior, para estudiar el movimiento browniano].
 - **Einstein**, Albert (1879-1955), de Ulm (Alemania). [En 1905 –su *annus mirabilis*– publicó tres trabajos que le darían fama universal: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (hipótesis cuántica), *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen* (movimiento browniano) y *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (relatividad

especial). En 1915 presentó su teoría general de la relatividad y en 1924-25 publicó sendos trabajos con la teoría cuántica de los gases ideales. Premio Nobel de 1921 “por sus servicios a la física teórica, y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico”].

- **Laue**, Max von (1879-1960), de Pfaffendorf (Alemania). [En 1911 publicó el primer libro *–Das Relativitätsprinzip–* dedicado íntegramente a la exposición de la teoría de la relatividad especial; el texto contribuyó decisivamente a la comprensión y difusión de la teoría. En 1912 demostró la naturaleza ondulatoria de los rayos X, al lograr su difracción mediante cristales. Premio Nobel de 1914, “por su descubrimiento de la difracción de rayos X por cristales”].
- **Jung**, Carl Gustav (1875-1961), de Kesswil (Suiza); psicólogo y psiquiatra. [Tras apartarse de las doctrinas freudianas, fundó la escuela hoy conocida como “psicología analítica”. En *Psychologische Typen* (1921), trata la relación entre lo consciente y lo inconsciente, proponiendo el reconocimiento de los tipos de personalidad extrovertido e introvertido. Pauli sostuvo con Jung una amplia y rica correspondencia científica y personal].
- **Ehrenfest**, Paul (1880-1933), de Viena. [Autor de la primera deducción rigurosa de la necesidad de una hipótesis cuántica para describir los experimentos acerca de la radiación del cuerpo negro (1911). En 1916 formuló el “principio adiabático”, que proporcionaba un método general de cuantización. El primero en poner de manifiesto (1925) que la teoría cuántica de los gases ideales de Einstein –según el método introducido por Bose en 1924– implicaba una nueva estadística, al tratarse las moléculas como entidades indistinguibles, según la terminología actual. El “teorema de Ehrenfest” (1927) presenta una relación entre la dinámica cuántica y la clásica. Autor, junto a su esposa Tatiana, del clásico *Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik* (1912)].
- **Born**, Max (1882-1970), de Breslau, hoy Wrocław (Polonia). [Inicialmente interesado por la termodinámica y por la teoría de la relatividad. En 1926 colaboró con Heisenberg y Jordan en el conocido *Dreimänner-Arbeit*¹¹; en ese mismo año sentó las bases de la teoría cuántica de colisiones, al tiempo que propuso la interpretación estadística de la función de onda. Su correspondencia con Einstein *–Briefwechsel, 1916-55* (1969)– es un interesante documento para profundizar en el desarrollo de la física a lo largo de casi de medio siglo. Premio Nobel de 1954 –compartido con Bothe¹²– “por su investigación fundamental en mecánica cuántica, especialmente por su interpretación estadística de la función de onda”].
- **Bragg**, William Lawrence (1890-1971), de Adelaida (Australia). [Autor, en 1912, de la fórmula que lleva su nombre, para la difracción de rayos X. Creó e impulsó –en colaboración con su padre W. H. Bragg– un nuevo campo: el análisis de estructuras mediante rayos X. Estimuló a F. H. Crick y J. D. Watson para el empleo de rayos X en su búsqueda de la estructura del ADN¹³. Premio Nobel de 1915–compartido con su padre– “por sus servicios en el análisis de la estructura cristalina mediante rayos X”; el físico más joven en recibir ese premio].
- **Bose**, Satyendranath (1894-1974), de Calcutta (hoy India). [En 1924 presentó una original forma de deducir la ley de Planck en términos exclusivamente corpusculares; es decir, en términos de fotones. Sin ser consciente de ello –como

¹¹ Véase la referencia correspondiente a Heisenberg.

¹² W. Bothe (1891-1957) recibió el premio “por el método de coincidencia y sus descubrimientos hechos a partir de él”.

¹³ La estructura se encontró en 1953; por ello ambos, junto a M. H. F. Wilkins recibieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 1962.

él mismo reconoció después— introdujo una nueva estadística, al tratar a los fotones como partículas indistinguibles (no estadísticamente independientes, en el lenguaje de la época). El procedimiento fue empleado por Einstein en 1924-25 para formular una teoría cuántica de los gases ideales de moléculas].

- **Bohr**, Niels (1885-1962), de Copenhague (Dinamarca). [Creador del primer modelo atómico con hipótesis cuánticas, en 1913. Primera formulación del principio de correspondencia (1918) y subsiguientes aplicaciones del mismo a la física atómica. Entre 1920-22 explica varios aspectos de la tabla periódica de los elementos. En 1924 –en colaboración con H. A. Kramers (1894-1952) y J. C. Slater (1900-1976)– publicó una original teoría dedicada a tratar de prescindir de los aspectos corpusculares de la radiación; la teoría quedó invalidada experimentalmente un año después. En el Quinto Congreso Solvay (1927) comienza el “debate Einstein-Bohr” acerca de la fundamentación de la mecánica cuántica. Bohr se erige en cabeza de “la interpretación de Copenhague” –la ortodoxa– del formalismo de la mecánica cuántica; Creador del “modelo nuclear de la gota líquida” (1936) y coautor –junto a J. A. Wheeler (1911-)– de una explicación teórica de la fisión del uranio (1939). Premio Nobel de 1922 “por sus servicios en la investigación de la estructura de los átomos y de la radiación que de ellos emana”].
- **Schrödinger**, Erwin (1887-1961), de Viena. [Sus intereses por la mecánica estadística le condujeron a la formulación de la mecánica ondulatoria en 1926, en cuatro trabajos que llevan un título común: *Quantisierung als Eigenwertproblem*. El mismo año demostró la equivalencia entre su formulación y la de Heisenberg (mecánica matricial, 1925). En 1935 propuso la paradoja luego conocida como “gato de Schrödinger”, para ilustrar ciertas peculiaridades de la medición cuántica. Cultivó la divulgación y el ensayo; *What is life* (1944) es el ejemplo más destacado. Premio Nobel de 1933, compartido con Dirac, “por el descubrimiento de nuevas formas productivas de la teoría atómica”].
- **Compton**, Arthur Holly (1892-1962), de Wooster (en Ohio, Estados Unidos). [Especializado en experimentos sobre la difusión de rayos X por cristales y otros materiales, en 1923 descubrió el efecto que hoy lleva su nombre. El propio Compton proporcionó, ese mismo año, una explicación teórica de dicho efecto¹⁴. En tal explicación se aunaban, por vez primera y con éxito, la teoría cuántica y la relatividad. Posteriormente se dedicó al estudio de los rayos cósmicos y estuvo altamente involucrado en el desarrollo del “Manhattan Project”. Premio Nobel de 1927 “por su descubrimiento del efecto que lleva su nombre”¹⁵].
- **Broglie**, Louis Victor de (1892-1987), de Dieppe (Francia). [Aunque siempre interesado por la física experimental, sus investigaciones se dirigieron hacia la física teórica (relatividad, mecánica estadística, radiación electromagnética, etc.). En su tesis doctoral –*Recherches sur la théorie des quanta* (1924)– introdujo la teoría ondulatoria de la materia, confirmada experimentalmente tres años después por Davisson y Germer, entre otros¹⁶. Premio Nobel de 1929 “por su descubrimiento de la naturaleza ondulatoria de los electrones”].

¹⁴ Otra explicación teórica independiente fue proporcionada, también en 1923, por P. Debye (1884-1966).

¹⁵ El premio fue compartido con C. Wilson (1869-1959); éste “por su método para visualizar las trayectorias de partículas cargadas eléctricamente mediante la condensación de vapor”.

¹⁶ C. J. Davisson (1881-1958) y L. H. Germer (1896-1979) observaron en 1927 la difracción de electrones por cristales. Davisson recibió el Premio Nobel de 1937 –compartido con G. P. Thomson (1892-1975), hijo de J. J. Thomson, que también realizó experimentos similares– “por su descubrimiento de la difracción de electrones por cristales”.

- **Pauli**, Wolfgang (1900-1958), de Viena. [En 1925 formuló el principio de exclusión, como solución a ciertos problemas relacionados con la explicación de la tabla periódica de los elementos; propuso asociar un cuarto número cuántico –semi-entero– al electrón; y sugirió la existencia de un *spin* nuclear, para poder explicar la estructura hiperfina de las líneas espectrales. Generalizó la ecuación de Schrödinger para incorporar el *spin* del electrón (1927). En 1930 sugirió la existencia del neutrino (descubierto en 1953) para explicar el espectro continuo de la radiación β . En 1940 demostró el teorema que relaciona la estadística de un agregado de partículas idénticas con el *spin* individual. Su afinidad con C. G. Jung les llevó a publicar *Naturerklärung und Psyche*, donde analizaban el papel de la psicología en las ideas de Kepler. Premio Nobel de 1945 “por el descubrimiento del principio de exclusión, también llamado principio de Pauli”].
- **Uhlenbeck**, George Eugene (1900-1988), de Batavia (hoy Yakarta, en Indonesia). [En 1925, siendo ayudante de Ehrenfest, publicó un artículo –en colaboración con Goudsmit– en el que, para explicar la estructura fina del efecto Zeeman, se asignaba al electrón un momento angular intrínseco –el *spin*–, con el correspondiente momento magnético asociado. Ello iba en la línea sugerida por Pauli, en 1925, de asignar un cuarto número cuántico al electrón. Miembro del equipo que desarrolló el radar (1943-45, en el MIT)].
- **Fermi**, Enrico (1901-1954), de Roma. [En 1926 presentó una nueva estadística que incorporaba el principio de exclusión. Desde 1928 trabajó en la formulación de una teoría propia –distinta de la de Dirac (1927)– sobre la cuantización del campo electromagnético, cuya forma final publicó en 1932. En 1933-34 formuló su teoría de la desintegración β . En 1934 encontró la mayor eficacia de los neutrones lentos para provocar reacciones nucleares (estuvo a punto de adelantar en unos cuatro años el descubrimiento de la fisión nuclear). Premio Nobel de 1938 “por su descubrimiento de la existencia de nuevos elementos radiactivos producidos por irradiación con neutrones, y por su descubrimiento relacionado con ello de reacciones nucleares provocadas por neutrones lentos”].
- **Heisenberg**, Werner (1901-1976), de Würzburg (Alemania). [Creador de la mecánica matricial en 1925, cuya rigurosa formulación matemática apareció en 1926 en un famoso trabajo (*Drei-Männer-Arbeit*) en colaboración con Born y Jordan. Formuló el principio de incertidumbre (1927) y descubrió las dos formas alotrópicas del hidrógeno molecular: el ortohidrógeno y el parahidrógeno. En 1932 introdujo el *spin isotópico*. Dirigió el proyecto nuclear alemán –proyecto *Uranio*– durante la Segunda Guerra Mundial. Autor de *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* (1930) y de *Physics and beyond* (1971), traducción de *Der Teil und der Ganze* (1969). Premio Nobel de 1932 “por la creación de la mecánica cuántica, cuya aplicación ha conducido, entre otros, al descubrimiento de las formas alotrópicas del hidrógeno”].
- **Goudsmit**, Samuel Abraham (1902-1978), de La Haya (Holanda). [En 1925 publicó un artículo –en colaboración con Uhlenbeck– en el que, para explicar la estructura fina del efecto Zeeman, se asignaba al electrón un momento angular intrínseco –el *spin*–, con el correspondiente momento magnético asociado. Ello iba en la línea sugerida por Pauli, en 1925, de asignar un cuarto número cuántico al electrón. Dirigió la publicación de *Physical Review* y comenzó en 1958 la de *Physical Review Letters*. Dirigió la “Alsos Mission”].
- **Dirac**, Paul Adrien Maurice (1902-1984), de Bristol (Inglaterra). [Sustanciales aportaciones a la teoría cuántica: analogía entre los paréntesis de Poisson de la

mecánica hamiltoniana y los conmutadores de la mecánica matricial (1925), teoría de la transformación que confirmaba la equivalencia entre las formulaciones ondulatoria y matricial de la mecánica cuántica (1926), carácter antisimétrico de las funciones de onda de un conjunto de electrones (1926), bases de la electrodinámica cuántica (1927), ecuación de ondas relativista para el electrón (1928), etc. Autor del clásico *The principles of quantum mechanics* (1930). En 1931 predijo la existencia del positrón, detectado por Anderson¹⁷ ese mismo año. Premio Nobel de 1933, compartido con Schrödinger, “por el descubrimiento de nuevas formas productivas de la teoría atómica”].

- **Neumann**, Johann (1903-1957), de Budapest. [Formuló en 1929 el primer teorema ergódico cuántico¹⁸. Autor del clásico *Grundlagen der Quantenmechanik* (1932), donde se presenta con sumo rigor el formalismo cuántico, introduciendo la matriz densidad y tratando, entre otros temas, la teoría de la medida y el problema de las variables ocultas. Después de la guerra realizó aportaciones notables en diversos campos: teoría de la información, cibernética, modelización de la economía, etc.].
- **Congresos Solvay**, (1911-). [El químico y físico germano W. H. Nernst logró convencer en 1911 al químico e industrial belga E. Solvay para que financiara una reunión internacional que tuviera como objetivo el que los físicos de mayor prestigio discutieran en torno a las ideas cuánticas que habían aparecido durante la primera década del siglo XX. Así surgió el primero de una serie de congresos que aún continúa, aunque el ámbito y la organización ha ido cambiando con el tiempo. En relación con el desarrollo de la teoría cuántica, tal vez los más importantes hayan sido el primero y el quinto. Las actas del primero –*La théorie du rayonnement et les quanta*, Bruselas, 1911–, publicadas por M. de Broglie y P. Langevin en 1912, sirvieron para difundir ampliamente las primeras ideas cuánticas, que así dejaron de ser objeto de consideración por parte de tan sólo unos pocos. En el quinto –*Électrons et photons*, Bruselas, 1927– se exhibieron todas las grandes aportaciones a la mecánica cuántica surgidas en los dos años anteriores y allí estaban casi todos los protagonistas: Lorentz –presidente desde el primer congreso–, Planck, Einstein, Bohr, Compton, L. de Broglie, Schrödinger, Pauli, Heisenberg, Dirac, Born, Kramers, Ehrenfest, etc. En este quinto congreso comenzó el largo y fructífero debate entre Einstein y Bohr, fundamentalmente, en torno a la interpretación del formalismo cuántico. Un debate –que no se puede considerar del todo aún extinguido– entre dos posturas irreconciliables: la representada por el “realismo” de Einstein y la “interpretación de Copenhague” –la ortodoxia– sistematizada por Bohr].
- **Manhattan Project** (1942-1946). [Es el nombre se que asignó al proyecto estadounidense para producir una bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial. Dirigido por el general L. R. Groves y con J. R. Oppenheimer como responsable de los aspectos científicos, se llegaron a fabricar tres bombas. La primera, llamada “Gadget”, se empleó como modelo de prueba; se lanzó en Alamogordo (New Mexic), el 16 de julio de 1945. La segunda –“Little Boy”, de

¹⁷ C. D. Anderson (1905-1991) recibió el Premio Nobel de 1936 “por su descubrimiento del positrón”. El premio fue compartido con V. F. Hess (1883-1964), a quien se le otorgó “por su descubrimiento de la radiación cósmica”.

¹⁸ El teorema clásico equivalente fue formulado por el estadounidense G. D. Birkhoff (1884-1944) en 1931; es decir, ¡dos años después!

uranio– se lanzó sobre Hiroshima el 6 de agosto. La última –“Fat Man”, de plutonio– se lanzó sobre Nagasaki el 9 del mismo mes. Japón se rindió oficialmente el 15 de agosto de 1945. El proyecto inició sus andaduras siendo F. D. Roosevelt presidente de Estados Unidos; murió el 12 de abril de 1945 y fue sucedido en el cargo por H. Truman].

- **Alsos Mission** (1944-46). [Siguiendo el avance de las tropas aliadas, tenía como objetivo investigar el desarrollo y los resultados del proyecto alemán de construcción de armamento atómico, así como de capturar todo el material posible y detener a los científicos supuestamente involucrados; siempre tratando de evitar que la Unión Soviética se adelantara. La misión detuvo a diez científicos –Heisenberg entre ellos– que fueron liberados al comienzo de 1946, tras un internamiento de cinco meses en Farm Hall, en Inglaterra].

Luis Navarro Veguillas

Marzo, 2002