

SOLEDAD, CULTURA Y CIENCIA

En la época de Einstein (1879-1955)



Los libros que se exhiben han sido cedidos por la Biblioteca de la Universidad de La Laguna



Esta exposición ha sido posible gracias al apoyo prestado por el Excmo. Ayuntamiento de la Villa de La Orotava

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y ss. del Código Penal).

Con el patrocinio de la Dirección Territorial de CAJAMAR en Murcia.

© Academia de Ciencias de la Región de Murcia, 2005

TEXTOS: Miguel Hernández González, José Montesinos Sirera y Sergio Toledo Prats.

IMÁGENES: Miguel Hernández González, Eduardo Martín Pérez y José Andrés Oliva Hernández.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Prop-Art.

I.S.B.N.:

Depósito Legal:

Imprime: Compobell S.L., Murcia

SOCIEDAD, CULTURA Y CIENCIA
en la época de Einstein (1879-1955)

- Créditos	1
- Biografía	2 y 3
- Ciencia de la época	4, 5 y 6
- 1905, un año milagroso	7
- El Principio de Relatividad	8 y 9
- El concepto de masa	10, 11 y 12
- La gravedad	13, 14 y 15
- Una época convulsa	16, 17 y 18
- Ciencia y nazismo	19 y 20
- La Matemática alemana	21
- El arte	22
- El cine	23
- La literatura	24
- Cómic y gravitación	25
- Filosofía	26 y 27
- Einstein y Bohr	28
- El mundo de la cuántica	29

En marzo de 1905, después de profundas meditaciones sobre la naturaleza de la luz, el genio de Ulm dedujo que la luz podía actuar como si estuviera formada por partículas discretas e independientes y, como consecuencia, que puede arrancar electrones de los metales. Era el primer aldabonazo de un año prodigioso para la Ciencia y sus posteriores aplicaciones. Los dos trabajos inmediatamente posteriores fortalecían la teoría cinética y creaban una poderosa herramienta para el estudio del movimiento de los átomos. En junio de ese año, ocupándose del electromagnetismo y el movimiento, formula su Principio de Relatividad y comienza la revisión de los conceptos de espacio y tiempo: hablamos de lo que más tarde se llamó la Teoría Especial de la Relatividad. El quinto del año, en septiembre, muestra la ecuación quizás más universal de la historia: “Si un cuerpo emite una cierta cantidad de energía, entonces su masa debe disminuir en una cantidad proporcional”.

Cualquiera de esos cinco trabajos era merecedor del Nobel y sus aplicaciones de tal magnitud que cualquier tecnología, que ahora llamamos pomposamente de última generación, procede directamente de la obra de Einstein. Desde las más habituales: luz eléctrica, TV, laser; hasta la más sofisticada ligada a la computación cuántica.

Con el patrocinio de esta exposición, CAJAMAR ha querido sumarse a los actos de celebración del Año Internacional de la Física y del centenario del annus mirabilis de Albert Einstein, pero -esencialmente- colaborar con la Academia de Ciencias de la Región de Murcia en su loable objetivo de acercar la Ciencia a todos los ciudadanos de esta comunidad, elevando su cultura científica y tecnológica y familiarizándose con aquellos logros científicos que contribuyen a sus mejores condiciones de vida.

Que esta exposición y Catálogo sirvan para descubrir, entre los escolares, otro “einstein” que encuentre el eslabón que falta entre los mundos “macro” y “micro” en el terreno de la Física.

Antonio Pita Reyes
Director Territorial de CAJAMAR
en Murcia

En marzo de 2005 tuve la inmensa fortuna de asistir, en La Orotava, Tenerife, a la Seventh International Conference on the History of General Relativity, organizada por la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. El mejor complemento a un exquisito panel de conferenciantes fue la exposición Sociedad, Cultura y Ciencia en la época de Einstein (1879-1955). Me causó tan grata impresión que no dudé un segundo en iniciar las gestiones para que la Academia de Ciencias de la Región de Murcia llevase esta muestra a sus paisanos. Pero había que darse prisa, pues ya estábamos a mitad del centenario del más prolífico año investigador de Albert Einstein.

Pronto encontré todo tipo de facilidades en Miguel Hernández González y José Montesinos Sirera, de la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, a quienes siempre agradeceré las facilidades para que mi empeño tuviera un final feliz, como así ha sido. Los mismos sentimientos apuntan a Toño Mesa, de Prop-Art.

La exposición “**Ciencia, cultura y sociedad en la época de Einstein (1879-1955)**”, coincidiendo con los actos de la Semana de la Ciencia y la Tecnología 2005, y bajo el patrocinio de la Consejería de Educación y Cultura a través de la Fundación Séneca, se inauguró el 15 de noviembre de 2005 en el Museo de la Ciencia y el Agua. Ha sido -intencionadamente- realizada en un formato de fácil manejo para facilitar su traslado de manera que pueda ser gratuitamente visitada en todos los rincones de nuestra región.

Para que su lectura y memoria no pasen al olvido, CAJAMAR se ha brindado a financiar el excelente Catálogo que ponemos a su disposición y que se convertirá en una joya de biblioteca. El esfuerzo económico ha sido considerable, por eso -y en la misma medida- expresamos nuestro agradecimiento. Pero nuestra gratitud hacia CAJAMAR se acentúa en la medida que ha sido sensible al reto de llevar al ciudadano la obra científica de un genio sin par.

Ángel Ferrández Izquierdo
Presidente de la Academia de Ciencias
de la Región de Murcia



(1879 - 1955)

SEMBLANZA

1905

ANNUS MIRABILIS

El 17 de marzo Einstein concluye su artículo sobre el efecto fotoeléctrico.

El 30 de abril termina su tesis doctoral que tiene por título *Sobre una*

nueva determinación de las dimensiones moleculares, dedicada a su amigo Marcel Grossmann.

11 de mayo, la revista *Annalen der Physik* recibe el artículo de Einstein en el que explica el movimiento Browniano.

30 de junio, se recibe en la revista *Annalen der Physik* el primer artículo en el que Einstein trata la relatividad especial.

27 de septiembre llega, a los *Annalen der Physik*, el segundo artículo sobre la relatividad especial en el que Einstein expone por primera vez su famosa fórmula, $E = mc^2$.

19 de diciembre, Einstein manda a los *Annalen* un segundo artículo sobre el movimiento Browniano.

1907 Einstein tiene "*la vida más feliz de su vida*" en la que descubre el principio de equivalencia. También halla la expresión para el desplazamiento al rojo y nota que la luz debería curvarse al pasar junto a objetos masivos.

1908 El 28 de febrero es admitido en la Universidad de Berna como 'Privatdozent', puesto que le permite dar clases en la institución pero sin derecho a cobrar.

1909 El 15 de octubre comienza a trabajar como profesor asociado en la Universidad de Zurich.

1910 El 28 de julio nace su segundo hijo, al que pondrá por nombre Eduard.

1911 El 1 de abril se hace efectivo el decreto del emperador Francisco José, que otorga una plaza de profesor en la Universidad de Praga a nombre de Albert Einstein.

1912 A principios de febrero es nombrado profesor numerario de matemáticas en la Universidad de Zurich. Allí coincide con Marcel Grossmann que colaborará con él en la formulación de la Teoría General de la Relatividad; esta colaboración se mantendrá hasta 1913.

1913 El 12 de junio, diversas personalidades científicas como Planck, Nerst, Rubens y Warburg, proponen a Albert Einstein como miembro de la Academia Prusiana de Ciencias de Berlín.

El 7 de diciembre acepta la cátedra de Física de la Universidad de Berlín sin obligaciones de enseñanza.

1914 Einstein se traslada a Berlín y poco después se separa de su mujer Mileva, que retorna a Zurich con sus hijos.

Se publica el *Manifiesto de Fulda*, que Einstein no suscribirá, en el que 93 prestigiosos intelectuales, entre los que se encuentran Planck, Ehrlich, Haber y Willstätter entre otros, defienden la justa causa alemana y la invasión de la neutral Bélgica, al mismo tiempo que justifican, como actos de autodefensa, las atrocidades cometidas por las tropas alemanas en Lovaina.

1915 El 15 de noviembre encuentra finalmente la correcta formulación de la Teoría General de la Relatividad después de varias propuestas fallidas.

1916 El 5 de marzo publica su primer artículo sobre las ondas gravitacionales.

En diciembre termina su libro más conocido: *Sobre la Teoría de la Relatividad Especial y General*.

1879 El 14 de marzo, a las 11:30, nace Albert Einstein, en la ciudad alemana de Ulm. Es el primer hijo del matrimonio formado por Hermann Einstein y Pauline Koch.

1880 El 21 de junio, la familia de Einstein se traslada a la ciudad de Munich.

1884 Einstein queda maravillado y asombrado por el comportamiento de una brújula que tiene su padre.

1891 Lee *Los Elementos* de Euclides y queda fascinado por ellos.

1894 La familia de Einstein se arruina y se ve obligada a emigrar a Italia. Einstein permanece en Munich para terminar sus estudios de bachillerato.

1895 Deja sus estudios en Munich para reunirse con su familia en Pavía. En octubre se traslada a Suiza, retomando sus estudios en la Escuela Cantonal de Arau.

1896 El 18 de enero, obtiene un documento que le certifica que deja de ser ciudadano alemán.

En octubre se gradúa y ello le permite acceder en la Escuela Politécnica de Zurich; a esta ciudad trasladará su residencia. Allí coincide con Marcel Grossmann y Mileva Maric.

1897 Conoce a Michele Besso, con el que mantendrá una profunda amistad a lo largo de toda su vida.

1900 Obtiene el título de doctor en Ciencias Físicas por la Escuela Politécnica de Zurich.

1901 El 21 de febrero obtiene la nacionalidad suiza, que mantendrá durante toda su vida.

El 13 de marzo es declarado incapacitado para cumplir el servicio militar suizo a causa de tener pies planos y venas varicosas.

1902 El 21 de febrero llega a Berna donde se sustenta económicamente con una pequeña pensión de su familia y unos débiles ingresos por impartir clases particulares de física y matemáticas.

El 23 de junio comienza a trabajar en la oficina de patentes de Berna como técnico experto de tercera clase.

El 10 de octubre fallece su padre

1903 El 6 de enero se casa con Mileva Maric. Junto a Conrad Habicht y Maurice Solovine funda la *Academia Olimpia* - foro de formación y discusión científica y filosófica -.

1904 El 14 de mayo nace Hans Albert, su primer hijo.

- 1917 En febrero escribe su primer artículo sobre cosmología en el que introduce el famoso término de la *constante cosmológica*.
El 1 de octubre el Instituto Káiser Guillermo de Física comienza sus actividades bajo la dirección de Einstein quien continuará en el cargo hasta 1933.
- 1919 El 14 de febrero Einstein y su mujer Mileva se divorcian.
El 29 de mayo tiene lugar un eclipse de sol total con el que los científicos tienen la oportunidad de poner a prueba las teorías de Einstein sobre la gravitación. A este fin son enviadas a Isla Príncipe y al norte de Brasil dos expediciones, dirigidas por Eddington y Crommelin respectivamente.
El 2 de junio Einstein se casa con su prima Elsa Einstein Löwenthal.
El 6 de noviembre, durante una conferencia de la Royal Society y la Royal Astronomical Society en Londres, se anuncia que las observaciones del eclipse de mayo confirman las predicciones de la relatividad general de Einstein.
- 1920 Muere su madre, Pauline Koch, en marzo de este año.
En junio se encuentra por primera vez con Bohr, en la ciudad de Berlín.
El 24 de agosto tiene lugar un mitin multitudinario en contra de la teoría general de la relatividad, al que asiste el propio Einstein.
El 23 de septiembre, en la reunión de Bad Nauheim, tiene una dura confrontación con Philipp Lenard, eminente físico y representante principal de la llamada *física alemana* por oposición a la *física judía* de la que Einstein sería el máximo exponente.
- 1921 El 9 de noviembre es galardonado con el premio Nobel de Física, mientras se encuentra de viaje rumbo a Japón, por *sus servicios a la física teórica y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico*.
- 1922 Completa su primera comunicación sobre la teoría del campo unificado.
- 1923 Durante su viaje entre Palestina y Alemania, Einstein se detiene en España, donde es nombrado doctor honoris causa por la Universidad Central de Madrid.
El descubrimiento del efecto Compton termina por ratificar el concepto del fotón como corpúsculo.
- 1925 Firma, junto a Gandhi y otros, un manifiesto contra la obligatoriedad del servicio militar.
- 1927 En octubre comienza el quinto congreso Solvay, donde se inicia la *controversia entre Bohr y Einstein sobre los fundamentos de la mecánica cuántica*.
- 1931 En abril de ese año Einstein rechaza la constante cosmológica como un término innecesario e injustificado.
- 1932 En octubre es nombrado catedrático del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton.
El 10 de diciembre Einstein y su esposa viajan a los Estados Unidos; el viaje, planeado en principio como uno más, acaba, por culpa del antisemitismo reinante en Alemania, en un viaje de no retorno.
- 1933 El 20 de diciembre los Nazis toman el poder en Alemania.

- 1939 El 2 de agosto Einstein envía a F. D. Roosevelt una carta llamándole la atención sobre las aplicaciones militares de la energía atómica.
- 1940 El 1 de octubre obtiene la nacionalidad estadounidense, aunque sigue manteniendo la nacionalidad suiza.
- 1944 El 10 de diciembre pronuncia un discurso en la ciudad de Nueva York titulada "*La guerra está ganada, pero la paz no*".
- 1948 El 4 de agosto muere Mileva Maric, la ex mujer de Einstein.
- 1952 En noviembre de este año le ofrecen la presidencia del recientemente creado Estado de Israel, oferta que rehusa.
- 1954 El 14 de abril la prensa publica una declaración de Einstein en apoyo a Oppenheimer, al que, en el marco de la *caza de brujas*, se acusa de filocomunista.
- 1955 El 15 de marzo muere Michele Besso.
11 de abril, última carta firmada por Einstein (a Bertrand Russell), en la que le dice estar de acuerdo en suscribir un manifiesto instando a todas las naciones a renunciar a las armas nucleares.
El 18 de abril muere Albert Einstein a la edad de 76 años en el hospital de Princeton. Su cuerpo es incinerado y sus cenizas son esparcidas en un lugar desconocido.

Ideas y Opiniones

❖ Una comunidad de individuos cortados por el mismo patrón, sin originalidad ni objetivos propios sería una comunidad pobre, sin posibilidades de evolución. El objetivo (de la escuela) he de ser, por el contrario, formar individuos que actúen y piensen con independencia y que consideren, sin embargo, su interés vital más importante el servir a la comunidad.

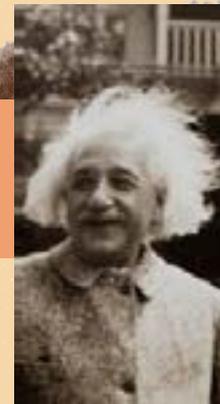
❖ Cuanto más progrese la evolución espiritual de la especie humana, más corto me parece que el camino que lleva a la verdadera religiosidad pasa, no por el miedo a la vida y el miedo a la muerte y la fe ciega, sino por la lucha por el conocimiento racional.

❖ La ciencia no es sólo una colección de hechos sin mutua relación. Es una creación del espíritu humano con sus ideas y conceptos libremente inventados. Las teorías físicas tratan de dar una imagen de la realidad y de establecer su relación con el amplio mundo de las impresiones sensoriales. Así pues, la única justificación de nuestras estructuras mentales está en el grado y en la forma en que las teorías logren dicha relación.

❖ En las circunstancias actuales, sólo elegiría una profesión en la que ganarse la vida no tuviera nada que ver con el ansia de saber.

BIOGRÁFICA

- 1936 El 7 de septiembre muere Marcel Grossmann.
El 20 de diciembre muere su mujer Elsa Einstein.



A. Einstein

LA CIENCIA

La Ciencia a finales del siglo XIX

El siglo XIX fue, desde la perspectiva de la ciencia, un periodo de extraordinaria creatividad. Se adquirió, en numerosos ámbitos, un conocimiento amplio de múltiples fenómenos y, al mismo tiempo, se articularon teorías de un alto grado de generalidad.

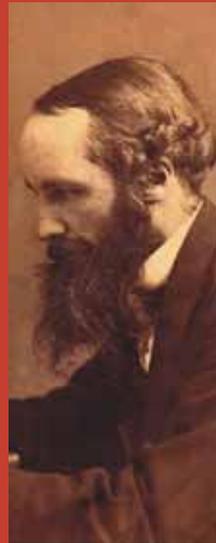
Es ésta la centuria durante la que se formula la teoría de la evolución de las especies, se culmina la síntesis del electromagnetismo y la óptica, se enuncia el principio de conservación de la energía, se mecaniza la ciencia del calor, se produce el desarrollo de la fisiología, la Química conoce un desarrollo espectacular, aparecen las geometrías no euclídeas, etc., Y, al mismo tiempo, es ésta también la época en la que se consolida el proceso de institucionalización de la ciencia iniciado en siglos precedentes.

El modo clásico de ver el mundo

Puede hablarse así, con propiedad, a finales de siglo y en el marco de las ciencias físicas, del establecimiento de un cierto modo de ver el mundo cuyas características más significativas podríamos resumir como sigue:

- ⇒ La materia, a la que tiende a concebirse como discontinua en su estructura, se mueve a través del espacio y en el tiempo según las leyes de la mecánica. Estas leyes son tales que si se conoce el estado de un sistema en un momento determinado, resulta factible determinar ese estado en cualquier otro momento del pasado o del futuro. La evolución del mundo físico es, pues, *determinista*.
- ⇒ Todas las diferencias aparentemente cualitativas de la naturaleza se deben a las diferencias de configuración o movimiento de estas unidades básicas o de sus agregados. Los cambios cualitativos son, pues, meros efectos superficiales del desplazamiento de esas unidades elementales.
- ⇒ La acción recíproca entre los corpúsculos básicos no es una acción a distancia; ésta puede siempre explicarse por una serie de acciones sucesivas del medio que separa a los cuerpos que interaccionan (este medio sutil es *el éter*).
- ⇒ La energía puede propagarse desde un lugar a otro de dos modos alternativos y excluyentes: por medio de *partículas* o por medio de *ondas*.
- ⇒ Las propiedades de un sistema, incluidos los atómicos, pueden medirse con una precisión ilimitada; para ello basta con reducir la intensidad de la sonda de medida o introducir un ajuste teórico controlado

Esta visión, que exige un cierto modo de entender el espacio, el tiempo, la materia y el movimiento, supone la aceptación de una *causalidad mecánica* en la que el mundo, cuya *existencia objetiva* no se cuestiona, evoluciona de un modo claro y *determinista*, gobernado por leyes formuladas mediante *ecuaciones diferenciales*.



La visión clásica del mundo queda, así, recogida en un conjunto de ecuaciones que sintetizan los dos grandes campos del conocimiento físico:

⊛ Las leyes de Newton para los sistemas mecánicos y la expresión general de una de las interacciones fundamentales de la materia - la gravitacional - con la que se unifican las dinámicas terrestre y celeste.

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{F}_M = -G \left(\frac{MM'}{r^2} \right) \mathbf{u}_r$$

⊛ Las leyes de Maxwell y la relación de fuerza de Lorentz mediante las que no sólo se explican los fenómenos eléctricos y magnéticos sino con cuyo concurso se desvela la naturaleza electromagnética y ondulatoria de la luz.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho / \epsilon_0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\mathbf{F}_q = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



A finales del siglo XVIII, gracias fundamentalmente a los trabajos de Lavoisier y su escuela, la Química había comenzado a adquirir el estatuto de ciencia. La medida y el control experimental habían sustituido a la observación cualitativa y el asombro que generaban los espectaculares procesos químicos se había mutado en análisis.

Pronto surgieron las primeras regularidades, las primeras leyes, y con ellas volvió a avivarse la vieja indagación sobre la constitución y estructura de la materia.



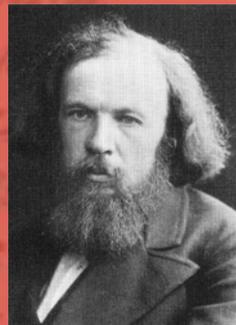
También en el ámbito de la Física, como consecuencia del desarrollo de la ciencia de la Pneumática y la formulación de las primeras leyes del comportamiento de los gases, el modelo atómico había ido ganando adeptos.



La publicación de los *Principia* produjo un impacto enorme en el ámbito de la cultura y la figura de Newton adquirió proporciones míticas. No es extraño, por tanto, que apareciera como *desideratum* de todas las ciencias el programa de Newton, cuya esencia no era otra que *investigar el carácter de las fuerzas de la Naturaleza a partir de sus manifestaciones* -obtener, en suma, su expresión

matemática como él hizo en el caso de la gravitación apoyándose en las leyes de Kepler - para, con posterioridad, demostrar el resto de los fenómenos. Subyace en esta concepción la idea de reducir los fenómenos a meras manifestaciones de materia y fuerza. El estudio de estas últimas categorías es el hilo conductor del desarrollo de la Física y la Química a lo largo del siglo XIX e incluso más allá.

EN EL TRÁNSITO



MATERIA Y FUERZA

Visión atomista e interacciones atómicas y moleculares

La visión atomista de la materia, hasta entonces limitada a una presencia fantasmal en el ámbito de la especulación filosófica, irrumpió con fuerza en el marco de la Física y la Química para, desde ellas, aunque no sin contradicciones, ir ganando espacio a lo largo de todo el siglo XIX -al compás de los nuevos desarrollos científicos-. Durante este proceso se iría perfilando la naturaleza de las interacciones que explicaban la textura de los cuerpos macroscópicos, tendiéndose así puentes entre lo visible y lo invisible, entre el macrocosmos y el microcosmos.

He aquí algunos de los "momentos" más significativos de una historia que culminaría el proyecto de mecanización del mundo que tiene sus raíces más próximas en el Cartesiano:

1. La obtención de las leyes ponderales de *conservación de la masa* (Lavoisier) y de las *proporciones definidas* (Proust).
2. La elaboración, por John Dalton, de una hipótesis atómica en la que sugiere, por un lado, que las combinaciones químicas se efectúan mediante unidades discretas, átomo por átomo, y, por otro, que los átomos de cada elemento son idénticos. Este modelo permite no sólo formular la ley de las *proporciones múltiples* (Dalton) sino, también, fortalecer la convicción de que *sin la hipótesis atómica las leyes de las combinaciones químicas seguirían siendo misteriosas, al igual que lo eran las leyes de Kepler antes del trabajo de Newton*.
3. La puesta en marcha de un programa de investigación con el objetivo conjunto de determinar *los pesos relativos de las partículas últimas, tanto de los cuerpos simples como de los compuestos, así como el número de partículas simples elementales que constituyen una partícula compuesta y el número mínimo de partículas compuestas que entran en la formación de una nueva partícula compuesta (...)*. ¡Todo un reto para la Química del momento!
4. El desarrollo de la ciencia de la Pneumática y la obtención de las leyes de Boyle y Charles. Estas leyes sugieren, a diferencia de lo que sucede para sólidos y líquidos, que todas las sustancias gaseosas, independientemente de su composición química, tienen un comportamiento físico similar. Se construye un modelo mecánico, de raíz atómica, para los gases; y el mismo Newton combina corpúsculos y fuerzas para tender el primer puente, de naturaleza cuantitativa, entre lo microscópico y lo macroscópico.
5. Las leyes volumétricas para las reacciones químicas entre gases avalan el comportamiento especial de estas sustancias. Los trabajos de Gay-Lussac, Cannizaro y Avogadro, al usar como sustrato interpretativo la hipótesis atómica, permiten reconciliar todos los resultados mediante la introducción de las moléculas poliatómicas.
6. Se producen avances significativos en el estudio de la naturaleza del calor. Black, Thompson, Davy, Mayer y Joule, entre otros, acaban estableciendo, más allá de toda duda, que el calor no es ninguna sustancia material o fluido imponderable, sino energía asociada al movimiento de diminutas partículas de materia ordinaria. La teoría cinético-molecular se extiende así a nuevos ámbitos de la Física para adquirir, finalmente, una enorme capacidad explicativa, en manos de Maxwell y Boltzmann, con la interpretación estadística de las leyes de la termodinámica.

7. Se introduce la noción de *afinidad* para dar cuenta de los procesos que tienen lugar cuando en un compuesto se produce la eliminación de uno de los constituyentes de un compuesto en beneficio de un tercer cuerpo: se dice entonces, que éste último presenta una *amistad*, *simpatía* o *predisposición afectiva*, una *afinidad* en suma, por el segundo de aquellos, más fuerte que la que había provocado la primera reacción. Por medio de ella, primero de forma vaga y más tarde de modo más riguroso, se intenta cuantificar esa mayor o menor capacidad de unión entre sustancias.

8. El uso de las descargas eléctricas y, más tarde, el de la pila como métodos para descomponer sustancias introduce la electricidad en la Química dando un nuevo sesgo tanto al estudio de la estructura de las sustancias como al de la naturaleza de las interacciones entre los constituyentes últimos de éstas. En el primer caso, permitiendo el descubrimiento de nuevos elementos (el número de éstos crece espectacularmente pasando de los 33 que Lavoisier incluía en 1789 a los 70 que clasificará Mendeleiev en 1869); en el segundo, estimulando teorías que aventuraban una explicación de la afinidad en términos eléctricos: *Creemos [dirá Berzelius] saber ahora con certeza que los cuerpos que tienen tendencia a combinarse muestran electricidades opuestas que aumentan en intensidad a medida que se aproximan a la temperatura a la que tiene lugar la combinación, hasta que, en el instante de la unión, la electricidad desaparece produciéndose una elevación de temperatura que a menudo es tan grande como para producir una llama [...]. En nuestro actual estado de conocimientos, la explicación más probable de las reacciones de ignición y combustión es la siguiente: en todas las combinaciones químicas hay una neutralización de electricidades opuestas y, esta neutralización, produce fuego del mismo modo que se produce en la descarga de un condensador, una pila, o un rayo [...].* La carga eléctrica se convierte así en la primera causa de toda actividad química. Sobre la base de dos fuerzas opuestas se podría construir un método simple de previsión de las reacciones químicas.

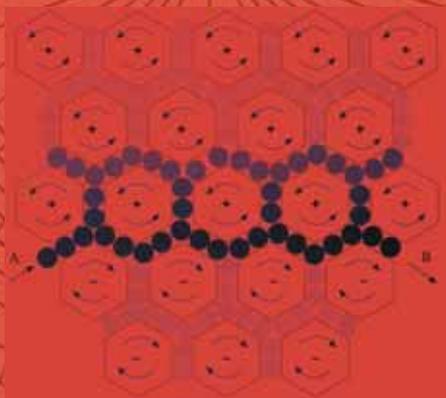
9. La proliferación de elementos químicos provoca cierto desasosiego, porque choca con uno de los principios subyacentes en cualquier ciencia que se precie: la simplicidad. Esta necesidad compulsiva de unificación puede explicar la "descabellada" idea de W. Prout (1785 - 1850) que imaginaba la diversidad de cuerpos simples derivada supuestamente de un único elemento originario, el hidrógeno. Mendeleiev, en cambio, aceptaba la existencia de la diversidad de elementos y por ello no buscaba, como Prout, una materia primera con la que explicar esa diversidad; estaba convencido, y lo estaría siempre, de la pluralidad irreductible de los elementos y de la imposibilidad de trasmutarlos. Encontró una cierta unidad entre los elementos químicos al descubrir la existencia de regularidades de comportamiento dentro de lo que conceptuaría como *familias*. El éxito de esta búsqueda lo resume su Tabla Periódica.

10. La naturaleza compleja de la luz, puesta de manifiesto por Newton al hacerla pasar por un prisma, está en el origen de lo que, más adelante, se conoció por espectroscopía. Físicos y químicos exploran las características de la luz emitida por todo tipo de sustancias y, más en particular, la de los diversos elementos químicos en fase gaseosa: los resultados muestran que a cada uno de ellos le corresponde un patrón de rayas luminosas único y característico.

11. La existencia de familias de elementos con propiedades similares, así como los datos procedentes del análisis espectroscópico de la luz emitida por las diferentes sustancias, suscitaron la sospecha de que debía existir una estructura interna en los átomos.

12. La naturaleza electromagnética de la luz había permitido no sólo incorporar la óptica al proceso de unificación de la electricidad y el magnetismo, sino también desarrollar un modelo plausible para la propagación de interacciones en términos de velocidades finitas. Los diversos éteres, que físicos y químicos habían introducido para explicar múltiples fenómenos, quedaron reducidos a uno sólo - el éter electromagnético - y este éxito permitió alumbrar teorías que pretendían interpretar los cuerpos materiales como vórtices y tensiones del éter: sustituir, en suma, la mecánica por el electromagnetismo.

13. A finales del siglo XIX y comienzos del XX se produjo una eclosión de fenómenos ligados a la existencia de una estructura subatómica: desintegración radiactiva, radiaciones desconocidas, descubrimiento del electrón, etc. Fue entonces, aunque pueda parecer paradójico, al cuestionarse la misma idea de átomo como entidad indivisible, cuando acabaría generalizándose la aceptación de la naturaleza atómica de la materia. Marie Curie escribía en 1900: *Los átomos (de los elementos radiactivos), indivisibles desde el punto de vista químico, son de hecho divisibles, y, más adelante añadía, refiriéndose a la explicación de la radiactividad en términos de la expulsión desde el átomo de partículas subatómicas: esto socava de forma grave los principios de la química.* En cualquier caso parecía claro que el átomo químico no era el estadio último de la física de partículas.



DEL SIGLO XIX AL XX

1905 UN AÑO MILAGROSO



Entre el 17 de marzo y el 27 de septiembre de 1905 Einstein produce cinco trabajos que tendrán una honda repercusión en la Física. El primero de ellos, su tesis doctoral, se presenta en la Universidad de Zurich, y los demás aparecen publicados en la revista *Annalen der Physik*, vols. 17 y 18.

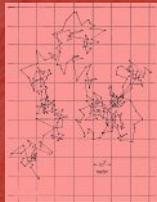
¿Cuál es el contenido de estos artículos? ¿Por qué tuvieron tanto impacto?

Sus títulos, agrupados a continuación de forma cronológica, no parecen muy prometedores: *Sobre un punto de vista heurístico acerca de la producción y transformación de la luz* (*Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*), *Una nueva determinación de las dimensiones moleculares* (*Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen*), *Sobre el movimiento que viene impuesto por la teoría cinético-molecular del calor a las partículas pequeñas suspendidas en líquidos en reposo*, (*Die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*), *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento* (*Electrodynamik bewegter Körper*), *¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido de energía* (*Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*).



Cuatro de ellos se inscriben en el marco de la imagen clásica del mundo que la Física había laboriosamente construido a lo largo del siglo XIX, en tanto que el que resta se sale de ese marco:

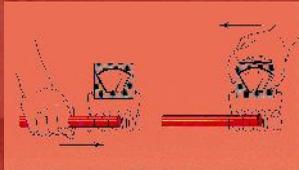
- ❖ El segundo y el tercero aparecen ligados a la visión cinético-molecular y contribuyen no sólo a reforzar la consistencia de esta visión sino también a suministrar más argumentos en favor de la teoría atomista. Así los comenta su autor cuando, en el texto *Notas autobiográficas*, pasa revista a su vida y trabajos: *Mi principal objetivo era hallar pruebas que garantizaran en la medida de lo posible que los átomos, de tamaño finito y determinado, existen.*



Una partícula se ve sometida al bombardeo continuado de las moléculas del líquido en el que está en suspensión. Si hay una descompensación, de forma que es más fuerte de un lado que de otro, la partícula se desplaza. Son las fluctuaciones de velocidad y densidad las que crean el movimiento aleatorio browniano - que Jean Perrin representó en el diagrama adjunto en el que aparecen las posiciones de las partículas a intervalos de treinta segundos.



- ❖ El cuarto y el quinto aceptan la preeminencia de las leyes del electromagnetismo frente a las de la mecánica y apuestan decididamente por la validez del mecanismo de propagación de las interacciones que se deduce de esas leyes. Esta opción exigirá, sin embargo, la puesta en cuestión de conceptos relativos al espacio y el tiempo hasta entonces tenidos por universalmente válidos y comportará la aparición de resultados que el propio Einstein calificará de *divertidos y seductores* - ¡está refiriéndose a la expresión $E = mc^2$! -. Se producirá, por tanto, una primera ruptura del marco clásico. El desarrollo y ampliación de las sugerencias que en ellos aparecen acabarían dando lugar primero a la Teoría de la Relatividad Especial y luego a la General.



En el artículo "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento" Einstein ponía en cuestión las explicaciones al uso, mediante las que se daba cuenta de la aparición de una corriente eléctrica en el solenoide. De acuerdo con éstas la causa de esta corriente dependía de cual de los dos cuerpos estaba en movimiento. Esta asimetría no estaba justificada desde ningún punto de vista, dado que el único factor relevante era el movimiento relativo del uno respecto del otro. La solución de esta asimetría, así como la de otras cuestiones problemáticas acabaría por originar una novedosa teoría - la relatividad especial - que modificaría conceptos, hasta entonces fuera de toda sospecha, al mismo tiempo que introduciría resultados inesperados - como la equivalencia masa-energía - de consecuencias profundas.



- ❖ El primer artículo, si es considerado por el propio autor como *muy revolucionario* porque cuestiona el, hasta entonces vigente, modelo ondulatorio de la radiación electromagnética. Se reabre así, aunque en términos nuevos, una antigua polémica - ¿cuál es la naturaleza de la luz? - que parecía definitivamente zanjada. La introducción del cuanto de luz (el *fotón*) acabaría convirtiéndose en uno de los pilares de lo que, más tarde, será la Mecánica Cuántica.



El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones desde la superficie de un metal como consecuencia del impacto de radiación electromagnética sobre él. Lo llamativo del fenómeno es que la energía de los electrones emitidos depende no de la intensidad de la radiación incidente - como era de esperar dada la, hasta entonces, supuesta naturaleza ondulatoria de la radiación - sino de la frecuencia.

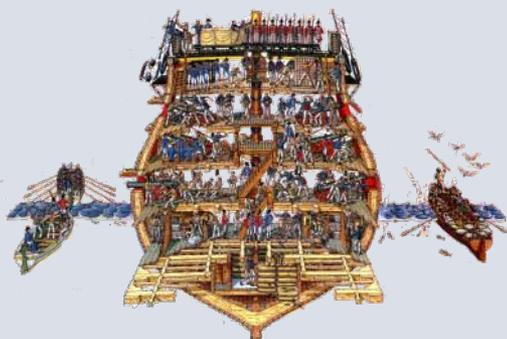
La explicación de Einstein atribuyendo a la luz propiedades corpusculares y energía de valor $h\nu$ recibiría el respaldo experimental de Millikan. Sus resultados confirmarían, más allá de toda duda, las atrevidas hipótesis de aquel. Los fenómenos cuánticos iban, poco a poco, modificando el marco de la Física Clásica.



EL PRINCIPIO DE...

La relatividad en Galileo: leyes de la mecánica e invarianza

El Principio de Relatividad de Galileo aparece enunciado por primera vez, de ahí su nombre, en la obra del físico italiano, *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo*, con el objetivo de zanjar la polémica sobre el supuesto movimiento de la Tierra.



En ese texto Galileo invita a sus interlocutores a realizar todo tipo de experimentos mecánicos [...] en la mayor habitación que encontréis bajo la cubierta de una gran nave, con el barco en reposo y con el barco en movimiento uniforme: Una vez que hayáis observado diligentemente todas estas cosas [se refiere a todos los experimentos mecánicos imaginables] aunque no haya ninguna duda de que mientras el bajel está parado tienen que suceder así, haced mover la nave con la velocidad que sea y veréis que (con tal que el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacia aquí y hacia allí) no observaréis el más mínimo cambio en ninguno de los efectos mencionados y que, a partir de ellos, no podréis determinar si la nave avanza o está quieta [...].

LAS TRANSFORMACIONES DE GALILEO

Se llaman así a las relaciones que ligan las coordenadas espaciales y temporales medidas en dos sistemas de referencia que se desplazan con velocidad V uno en relación al otro.

Si el desplazamiento es paralelo al eje x y los orígenes coinciden en el instante inicial, tales transformaciones se escribirían así:

$$\begin{aligned}x &= x' + Vt \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t'\end{aligned}$$

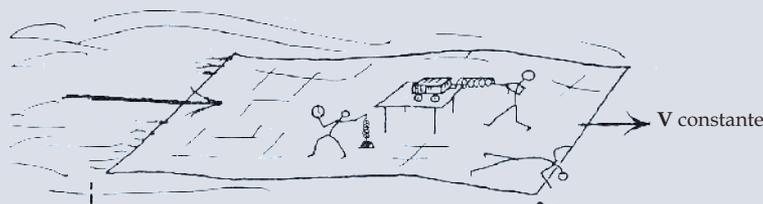
Las coordenadas temporales son idénticas en los dos sistemas y su evolución es la misma para todo punto.



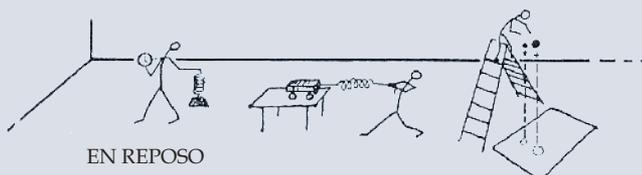
LEY DE ADICIÓN DE VELOCIDADES

A partir de las relaciones anteriores resulta posible obtener la ley de adición de velocidades cuya expresión aplicamos a los procesos de nuestra vida diaria y que se expresa así (para el caso sencillo de un objeto moviéndose a lo largo del eje X):

$$u = u' + V$$



Cada una de las tripulaciones afirma que la otra se mueve, al pasar, con velocidad V



Enunciado en términos modernos expresaríamos el resultado anterior así: No existe modo de detectar, mediante experimentos mecánicos, si un sistema de referencia es inmóvil o se halla animado de movimiento rectilíneo uniforme, o dicho más formalmente: Las leyes de la mecánica son invariantes frente a las transformaciones de Galileo.

EL PRINCIPIO DE...

Relatividad y Electromagnetismo: la explicitación de un conflicto

Las ecuaciones que describen el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos fueron formuladas por James Clerk Maxwell en 1873.

Estas ecuaciones, reflejo de las leyes del electromagnetismo, resultan no ser invariantes frente a las transformaciones de Galileo, o lo que es lo mismo, estas leyes, a diferencia de las de la Mecánica, no se expresan de igual modo en los distintos sistemas de referencia. Ello permitiría, entonces, diseñar experiencias electromagnéticas (y ópticas) con las que podría detectarse el movimiento de estos diferentes sistemas inerciales ya que sólo en uno de ellos, el sistema en el que el supuesto medio soporte de las ondas electromagnéticas - el éter - permanece en reposo, las ecuaciones tendrían la expresión que Maxwell les dio. No es extraño, pues, que la detección del *arrastré o del viento del éter* - la puesta en evidencia de fenómenos que dependerían de la velocidad respecto a este hipotético medio - se convirtiera en fuente de múltiples experimentos que, a la postre, resultarían fallidos: el más famoso de ellos sería el realizado por Michelson y Morley en 1887.

El electromagnetismo parecía devolver a un sistema, el del éter en reposo, el privilegio de la singularidad que se había perdido en la mecánica. La noción de espacio absoluto se reintroducía en la Física.

TRANSFORMACIONES DE LORENTZ

Por otra parte, si, por analogía con lo que sucede para la mecánica en la que hemos constatado la existencia de transformaciones que mantienen la covariancia de las leyes, las transformaciones de Galileo, tratamos de encontrar la forma de aquéllas que preserven la covariancia de las ecuaciones de Maxwell, obtenemos el siguiente conjunto de relaciones que ligan coordenadas y tiempos de dos sistemas inerciales de las mismas características que los utilizados con anterioridad.

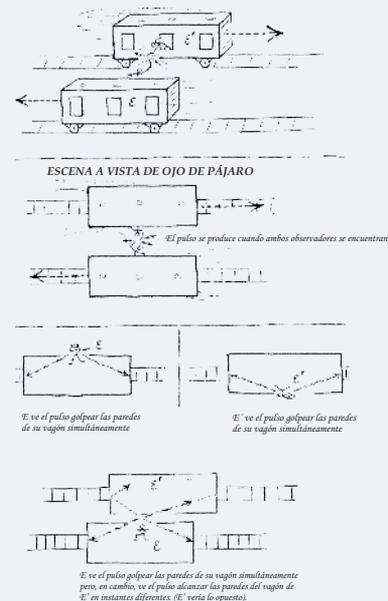
$$x = (x' + Vt') / (1 - V^2/c^2)^{1/2}$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = (t' + Vx'/c^2) / (1 - V^2/c^2)^{1/2}$$

A estas transformaciones se las denomina *transformaciones de Lorentz*, en honor al físico que las obtuvo. Puede observarse que, a diferencia de lo que sucedía en las *transformaciones de Galileo*, las coordenadas temporales no sólo no son idénticas en los dos sistemas sino que además aparecen ligadas a la posición. Esta conexión entre coordenadas espaciales y temporales tiene profundas repercusiones en cuanto a las medidas de distancias y de intervalos temporales. Destaca, por lo inesperado, la relatividad de la simultaneidad



RELATIVIDAD

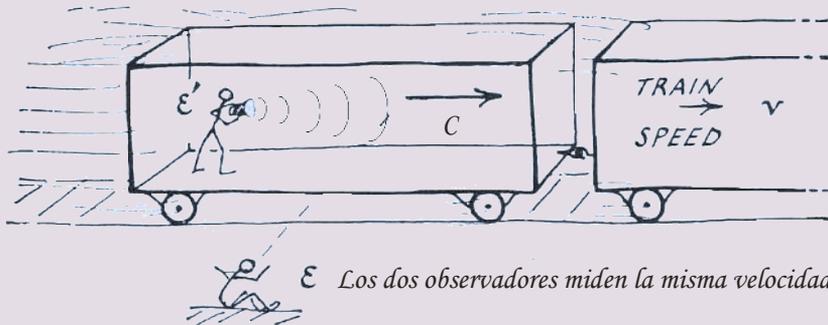
LEY DE ADICIÓN DE VELOCIDADES

Si aceptamos, sin mayor análisis, las variables medidas desde el sistema S' como variables espaciales y temporales y operamos con ellas, una simple ojeada nos permite afirmar que la ley de composición de velocidades galileana deja de cumplirse, transformándose en otra que (para el mismo caso de movimiento a lo largo del eje X y en la que $v = x/t$ y $v' = x'/t'$) se escribe así:

$$v = (v' + V) / (1 + Vv'/c^2)$$

El resultado anterior muestra que si $v' = c$, es decir si por ejemplo el observador lanza un destello de luz en su sistema móvil S', la velocidad que le atribuye el observador en reposo en S no es $V + c$ sino también c .

Todos los observadores obtienen la misma velocidad para el pulso de luz.



Y MASA GRAVITACIONAL

MASA INERCIAL.....

Einstein consideraba el descubrimiento de que toda caída libre implica ingravidez, una de sus más brillantes ideas. ¿Por qué?

Resulta interesante señalar que esta idea, a la que Einstein iba a sacar un partido extraordinario, ya había sido utilizada por Galileo en sus intentos por explicar el extraño comportamiento de los cuerpos en caída libre.

Nuestro sentido común parece decirnos que si soltamos simultáneamente y desde una misma altura dos cuerpos de igual forma - por ejemplo dos esferas de idéntico radio - pero de diferentes masas, la de mayor masa alcanzará el suelo antes.

Sin embargo, si realizamos la experiencia constatamos que la diferencia temporal en la llegada, si es que existe, apenas es perceptible pese a la diferencia de valor de las masas.

¿Cuál es la explicación de este extraño fenómeno?

GALILEO

En su libro *Diálogo sobre los dos máximos sistemas*, el polemista italiano:

Hace reconocer a sus oponentes que a todo cuerpo pesado en caída libre le corresponde una velocidad determinada, de modo tal que [ésta] no se puede aumentar o disminuir a no ser que le hagamos violencia o le pongamos alguna resistencia.

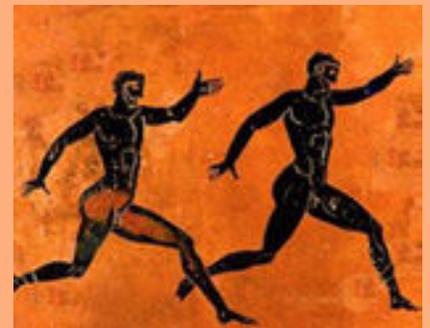
Propone unir, ahora, dos móviles que posean valores distintos de estas velocidades de caída y [...] entonces, si nosotros tuviéramos dos móviles, cuyas velocidades naturales fuesen distintas, es evidente que si uniésemos ambos, el más rápido perdería velocidad por obra del más lento, mientras que éste aceleraría debido al más rápido. El conjunto se movería más lento que el más veloz de los dos móviles y más rápido que el más lento.

Por otra parte, las dos piedras juntas dan por resultado una más grande que la primera [...] de lo que se sigue que tal compuesto se moverá a más velocidad que la primera de las piedras sola, lo cual contradice vuestra hipótesis. Veis, pues, cómo suponiendo que el móvil pesado se mueve a más velocidad que el que pesa menos, concluyo que el más pesado se mueve a menos velocidad.

Simplicio expresa su perplejidad ante el resultado anterior en estos términos: Yo me encuentro completamente ofuscado, pues me parece que la piedra más pequeña unida a la mayor le dará más peso, y no consigo explicarme cómo dándole más peso, no debe sumarle velocidad o, al menos, no disminuirla. Perplejidad que se acentúa cuando Salviati (Galileo) afirma: En este punto volvéis a cometer otro error porque no es cierto que la piedra más pequeña aumente el peso de la mayor.



La argumentación de Galileo, en lo que aparece una prefiguración del Principio de Equivalencia, se inicia en estos términos: Notad, ante todo, que hay que distinguir los cuerpos graves en movimiento, de los mismos en estado de reposo. [...] Sentimos sobre nuestras espaldas el peso de un objeto cuando intentamos oponernos al movimiento que se produciría si cayese, pero si somos nosotros mismos los que descendemos a la velocidad a la que caería de modo natural dicho cuerpo ¿creéis que se nos echaría encima y sentiríamos su peso? ¿No veis que esto sería como querer herir de una lanzada a alguien que huyera delante de nosotros a la misma velocidad o más rápido que nosotros mismos? Sacad la conclusión, por tanto, de que en la caída libre y natural, la piedra más pequeña no presiona con su peso a la mayor y, consecuentemente, no le añade peso alguno, como sería el caso en el estado de reposo, y, ante la pregunta de Simplicio: ¿Y si posase la piedra mayor sobre la más pequeña?, prosigue en estos otros: Aumentaría el peso de la otra si su movimiento fuese más rápido. Pero hemos visto ya de modo concluyente que si la más pequeña fuese más lenta, reduciría un tanto la velocidad de la mayor, de forma que la suma de ambas daría por resultado una caída menos veloz, a pesar de ser más grande, cosa que va contra vuestra suposición.



Galileo finaliza su argumentación con las siguientes palabras: Concluyamos, por tanto, que los móviles, grandes o pequeños, se mueven a la misma velocidad si tienen el mismo peso específico.

1624

MASA INERCIAL...

NEWTON

A lo largo de la exposición que hace en los *Principia*, Newton introduce los conceptos de masa inercial y masa gravitatoria.

La masa inercial es una medida de la resistencia que opone un cuerpo a cualquier cambio de velocidad y su definición se hace por medio de la segunda de las llamadas leyes de la Dinámica o leyes de Newton.

$$\mathbf{F}_{\text{TOTAL}} = M_{\text{in}} \mathbf{a}$$

La masa gravitatoria, por otra parte, se define a partir de la ley de Gravitación Universal.

$$\mathbf{F}_{MM'} = -G (M M' / r^2) \mathbf{u}_r$$

En esta expresión aparecen dos masas M y M' que juegan respectivamente el papel de agente activo ($M_{\text{grav. act.}}$) y el de agente pasivo ($M'_{\text{grav. pas.}}$).

$$\mathbf{F}_{MM'} = -G (M_{\text{grav. act.}} M'_{\text{grav. pas.}} / r^2) \mathbf{u}_r$$

Estos papeles se invierten cuando, de acuerdo con el Principio de acción y reacción, calculamos $\mathbf{F}_{M'M}$. No hay, pues, diferencias entre estas últimas.

Pero, ¿hay alguna razón esencial por la que las masas inercial y gravitatoria deban ser iguales?

De hecho, para Newton, esta igualdad se deduce de todo un amplio cúmulo de resultados experimentales: *Es esa cantidad la que en lo sucesivo menciono bajo el nombre de cuerpo o masa [se refiere aquí a sus características inerciales]. Lo mismo se da a conocer mediante el peso de cada cuerpo [alude aquí a sus aspectos gravitatorios]: pues la masa es proporcional al peso, como he descubierto por experimentos muy precisos con péndulos, que ya expondré más adelante.*



Así, si imaginamos un objeto en presencia de otro, por ejemplo la Tierra, la fuerza que ésta ejerce sobre aquél será:

$$\mathbf{F}_M = -G (M_T M'_{\text{grav}} / r^2) \mathbf{u}_r$$

De acuerdo con la segunda de las leyes de la dinámica el movimiento del objeto será:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_M &= M'_{\text{in}} \mathbf{a} \\ -G (M_T M'_{\text{grav}} / r^2) \mathbf{u}_r &= M'_{\text{in}} \mathbf{a} \end{aligned}$$

Y de la igualdad de las masas gravitatoria - M'_{grav} - e inercial - M'_{in} - resulta una aceleración de cada uno igual para todos los objetos:

$$\mathbf{a} = -G (M_T / r^2) \mathbf{u}_r$$

En el marco de la teoría newtoniana la igualdad de las masas inercial y gravitatoria es producto de la casualidad, de forma que, aún en el caso de que tal igualdad no se produjera, la teoría no se vería esencialmente afectada. Se constataría, sin más discusión, que los cuerpos acelerarían de forma distinta dependiendo de su constitución y su masa.

Y MASA GRAVITACIONAL

MASA INERCIAL...

EINSTEIN

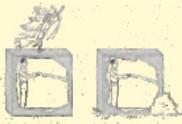
Para Einstein la igualdad de las masas gravitacional e inercial no sólo no es casual sino que, por el contrario, en esa igualdad se esconde una simetría esencial de la Naturaleza.

La idea en torno a la que articularía lo que más tarde acabaría convirtiéndose en la **Teoría de la Relatividad General**, idea que en algún momento de su vida llegó a considerar la más brillante que había tenido, no fue otra que la de constatar que si cayéramos libremente en un campo gravitatorio desaparecería la sensación de peso que nos acompaña siempre, y que, en consecuencia, las experiencias que se realizaran en ese observatorio limitado darían un resultado idéntico al que obtendríamos en un laboratorio alejado de la influencia de cualquier objeto masivo, en un laboratorio que se encontrara en el espacio vacío (situaciones *d* y *c* de las figuras).



Es más, si en este laboratorio que flota en el espacio vacío se activara un cohete comunicándole una aceleración de igual valor y sentido contrario al que atribuimos a la aceleración de la gravedad en las proximidades de la Tierra, el estado de ingravidez del tripulante, y el de todo lo que viaja en ese pequeño laboratorio, desaparecería y a aquél le parecería haber regresado a puerto seguro: la superficie de nuestro planeta (situaciones *b* y *a* de las figuras). La fuerza que atribuimos al campo gravitatorio resulta ser, en una región limitada, equivalente a un campo de fuerzas artificial asociado a la aceleración de un sistema de referencia!. No es posible, por tanto, distinguir si un laboratorio es un sistema inercial sometido a un campo gravitatorio o, si por el contrario, se trata de un sistema libre de gravitación pero animado por una aceleración que simula fielmente los efectos gravitacionales. Inercia y gravitación son, pues, dos aspectos de una misma realidad.

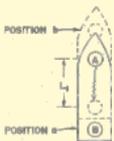
Algunas consecuencias del Principio de Equivalencia



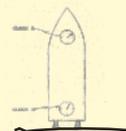
El observador que se halla en el ascensor vería, si el ascensor se moviera con velocidad constante, desplazarse en línea recta al rayo de luz. En cambio, si está acelerado la trayectoria se verá curvada. ¡Eso mismo es lo que ve el observador sometido al campo gravitatorio!. Los objetos masivos curvan la trayectoria de la luz.



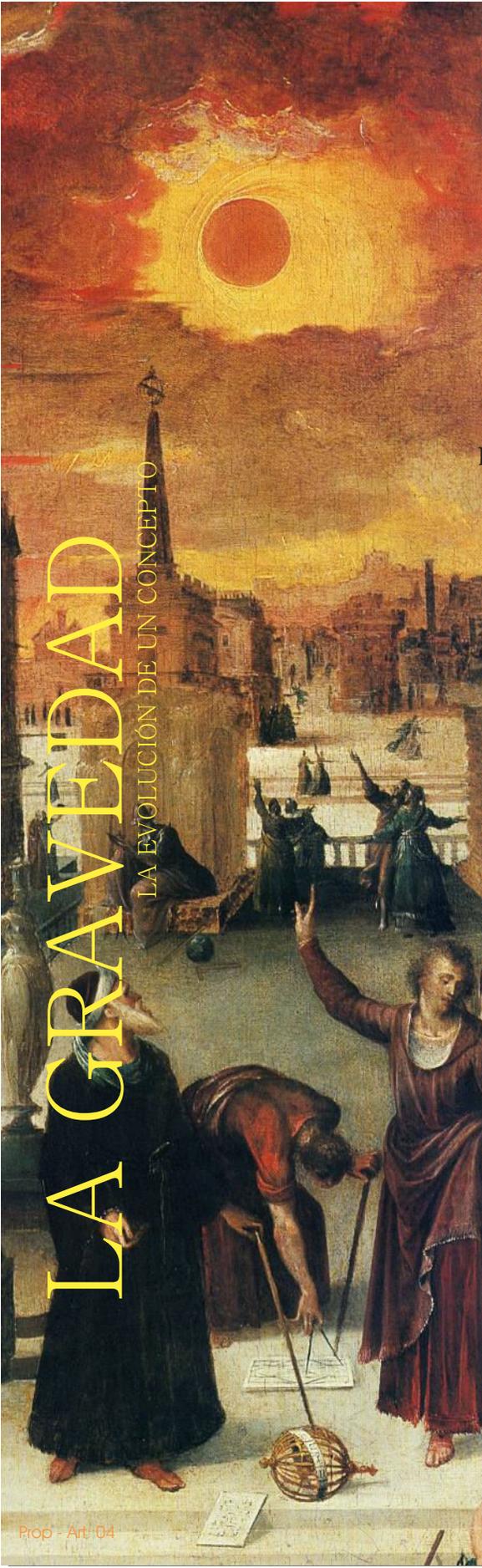
Imaginemos un observador que pretende comparar el tic-tac de dos relojes: uno colocado en la parte superior de un cohete y otro en la inferior, donde él se encuentra. Esta comparación exige que desde el reloj colocado en lo alto se emita una señal: destellos luminosos al ritmo de su tic-tac. Si el ascensor se mueve con velocidad constante el ritmo de llegada de los destellos coincidirá con el tic-tac del reloj que tiene frente a él, pero si, por el contrario, el ascensor está acelerado el suelo se acercará al reloj emisor de los destellos luminosos y el recorrido de estos será menor que cuando la velocidad es constante. El reloj colocado en la parte superior parecerá ir más deprisa. Si el observador se desplaza a la parte superior y observa los destellos emitidos por el reloj colocado en la cola vuelve a constatar que el reloj colocado en lo alto, ahora frente a él, va más deprisa porque la distancia que deben recorrer los destellos es mayor que cuando la velocidad es constante.



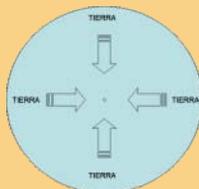
De acuerdo con el Principio de Equivalencia el mismo efecto ocurrirá si imaginamos el cohete colocado sobre la superficie de la Tierra: el reloj ubicado en lo alto tiene un tic-tac más rápido. La gravitación distorsiona no sólo el espacio sino también el tiempo.



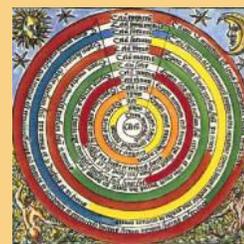
Y MASA GRAVITACIONAL



La Física de los lugares naturales y el Cosmos de Aristóteles Un único centro atractivo

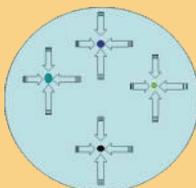


La noción esencial en torno a la gravedad en el Cosmos geocéntrico de Aristóteles no es otra que la que se deduce de su *física de los lugares naturales*. De acuerdo con ella, los objetos, en función de su composición elemental, tienen un lugar natural al que tienden si son sacados de él.



Se entiende, pues, la gravedad como una tendencia (natural) de los cuerpos pesados o graves, en cuya constitución entre el elemento "tierra", a aproximarse al centro del mundo. La gravedad no es, pues, una propiedad general sino privativa de estos cuerpos.

El mundo de Copérnico y la atracción de lo análogo por lo análogo Múltiples centros de atracción



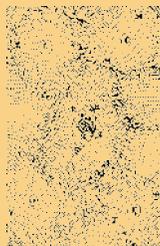
En el mundo copernicano la tendencia a aproximarse al centro es sustituida por la tendencia de la parte separada del Todo a incorporarse a ese Todo, reuniéndose con él. La pesantez ha dejado de ser privativa de la esfera terrestre, para extenderse a otras esferas y a todo tipo de cuerpos; por ello, aunque exista un centro dominante, el Sol, aparecen otros centros secundarios.



No obstante, pese a las diferencias entre los modelos aristotélico y copernicano, ambas visiones comparten la idea de que el motor, la tendencia, reside en el propio cuerpo por lo que no cabe asimilarla a una atracción a distancia, que exige como agente del movimiento a otro cuerpo.

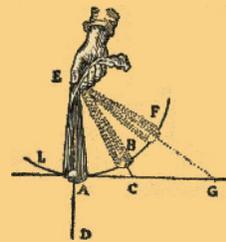
El mundo de Descartes: vorticidad y gravitación, presión y pesantez

En una caracterización concisa diríamos que, para Descartes, el mundo es pleno y dinámico, y su comportamiento puede asimilarse al de los fluidos en movimiento, donde son moneda corriente los torbellinos y los vórtices.



A diferencia de Galileo, para quien el principio de inercia es circular, Descartes tiene una percepción nítida de la persistencia del movimiento rectilíneo uniforme. Por ello, el mantenimiento del movimiento de las partículas en un torbellino no es posible a menos que exista un impedimento que obstruya la salida de esas partículas por la tangente.

Su referencia inmediata es lo que sucede a una piedra volteada por una honda. En ésta el obstáculo a la salida por la tangente lo pone la honda que sujeta la piedra mientras que en el mundo turbillonar de Descartes el impedimento lo constituye la materia que llena todo el espacio.



Por otra parte, en el mundo pleno de Descartes, todo movimiento es, inevitablemente y en última instancia, una sustitución, un intercambio de posición de distintos tipos de materia.

El peso, un efecto centrípeto, de acercamiento a un centro, resulta así ser producto de la conjunción de estos dos factores: la centrifuguez o huida por la tangente, que tiende a alejar la materia sutil del centro en torno al que gira y la subsiguiente ocupación, por el cuerpo grave, de los espacios libres abandonados por aquella. El efecto final no es otro que el descenso de esos cuerpos a la Tierra.

La pesantez de los cuerpos resulta, pues, ser una consecuencia centrípeta de las "tendencias centrifugas" de las que están dotadas las partículas más ligeras de los vórtices.



La acción a distancia: **Kepler** y la elipticidad de las órbitas planetaria

La noción de acción a distancia, aparece por primera vez de forma nítida en Kepler, quien en 1605 afirma que la teoría de la pesantez debe fundamentarse sobre el axioma de la atracción mutua de los cuerpos graves, ponderables:

Si uno colocara una piedra a cierta distancia de la Tierra y supusiéramos que ambas no estuvieran sujetas a cualquier otro movimiento, entonces, no sólo la piedra se precipitaría sobre la Tierra sino que, también, ésta se precipitaría sobre aquélla; ambas recorrerían un tramo del total inversamente proporcional a su peso.

Esta virtud atractiva (*virtus tractoria*) de la Tierra se extendería hasta la Luna y más allá; por ello, si una fuerza animada o de otra naturaleza – cuyo origen mantenía abierto – no retuviera a la Luna sobre su órbita ésta se aproximaría a la Tierra o, más exactamente, en consonancia con lo expresado en la cita anterior, ambas, Luna y Tierra, se encontrarían en un punto intermedio.

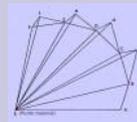
Será en el Sol –cuerpo que en su sistema tiene un papel central– donde busque el agente de esta fuerza. Este objeto singular no se limita a ser sólo fuente de luz sino que, además, actúa como fuente de poder motor. No es, por ello, un centro de atracción gravitacional sino un centro de movimiento rotacional del que emergen fuerzas, magnéticas y cuasi – magnéticas que, a modo de las especies inmateriales y atenuándose con la distancia, transmiten el movimiento de aquél a los planetas.

Kepler continúa apegado al dogma central de la dinámica aristotélica, *la fuerza es la causa del movimiento*, y por ello concebirá las fuerzas que empujan a los planetas como fuerzas en la dirección de la velocidad, tangenciales. Su desconocimiento de la ley de inercia y de la conexión causal entre fuerza y aceleración le impiden centrar su atención en la dirección en la que se producen los cambios de velocidad; no le es posible, en consecuencia, adquirir una noción clara de fuerza centrípeta, esencial para articular la ley de la gravitación.

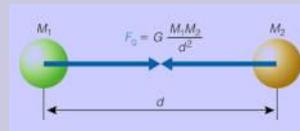
El universo de **Newton**: la fuerza centrípeta y la atracción entre masas

En una presentación sintética diríamos que Newton, una vez enunciadas lo que hoy conocemos como leyes fundamentales de la Dinámica, en las que se conectan movimientos – con más precisión cambios de movimiento – y fuerzas, trata de deducir la expresión de la fuerza responsable de un movimiento particular: el movimiento elíptico de los planetas alrededor del Sol, cuyas leyes cinemáticas había enunciado Kepler. Su acercamiento al tema es altamente idealizado y gradual.

- Así, inicialmente, en el primero de los tres libros de que constan los *Principia*, los objetos móviles son puntos materiales sin dimensiones y sobre ellos se ejercen acciones centrípetas hacia un “centro inmóvil”: de este estudio concluye que todo cuerpo sometido a una fuerza centrípeta que varía como el inverso del cuadrado de la distancia cumple las tres leyes de Kepler.



- La existencia de la ley de acción y reacción le obliga, en un segundo momento, a sustituir el “centro de fuerza” por otro punto material y, por ello, a considerar el problema del movimiento de dos cuerpos en interacción mutua. La fuerza centrípeta cede paso a las fuerzas de atracción mutua y el estudio se hace más complejo aunque aun resulte abordable.

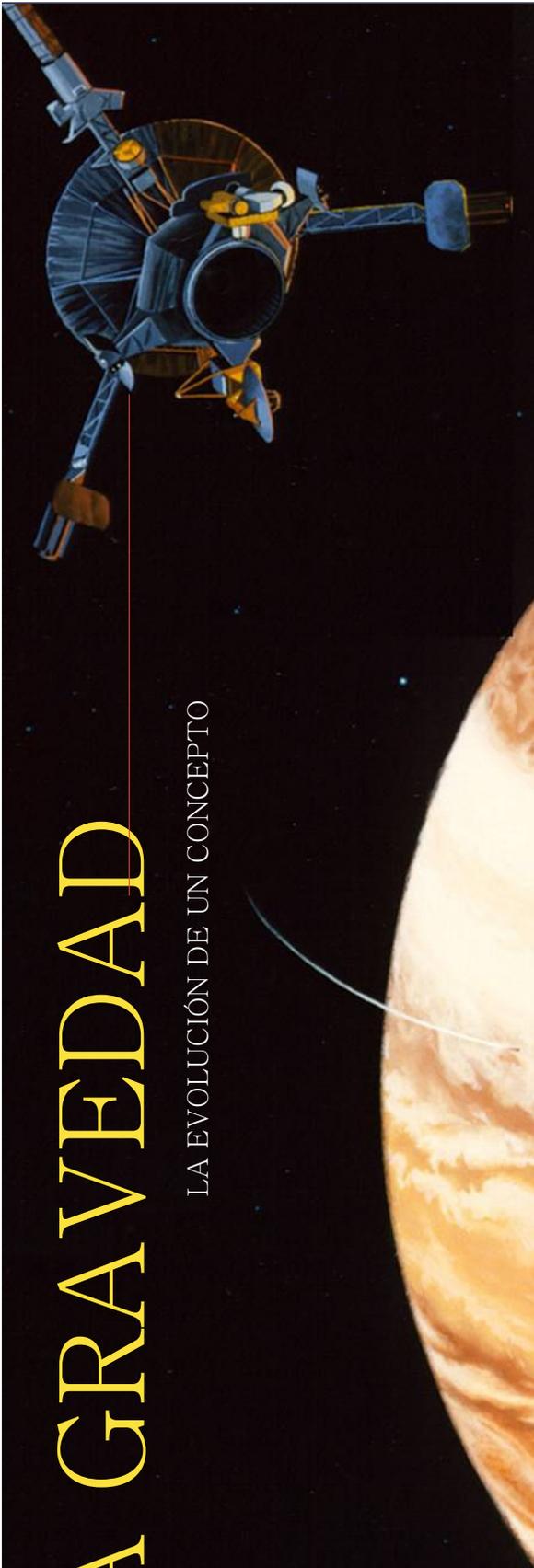


- En un tercer momento se construye, finalmente, basándose en los resultados previos, un nuevo Sistema del Mundo. En él el modelo utilizado para describir los objetos móviles se hace más real y los puntos materiales devienen esferas extensa. El problema resulta, así, más físico y a su término, la fuerza de atracción mutua acabará asimilándose a una fuerza de persistente acción en el ámbito de nuestro cercano mundo de experiencias llamada gravedad.

Culmina así la unificación de las Físicas Terrestre y Celeste que, hasta entonces, respondían a lógicas distintas.

LA GRAVEDAD

LA EVOLUCIÓN DE UN CONCEPTO

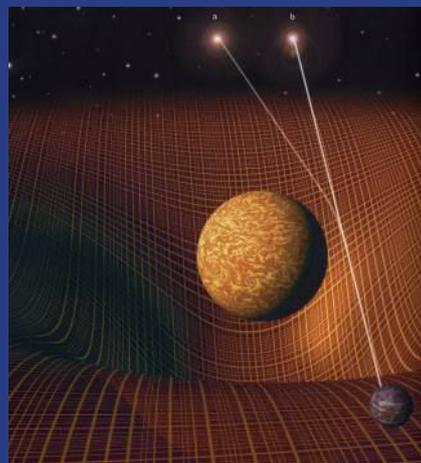


El Universo de EINSTEIN: Gravitación y Geometría

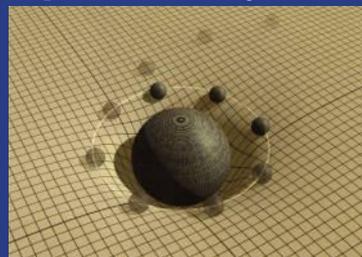
La aproximación de Einstein al tema de la Gravitación se apoya en varias intuiciones y en diversas sugerencias que se desprenden no sólo de su propia construcción de la Teoría de la Relatividad Especial sino de la forma en que la interpretaron otros físicos y muy en particular Minkowski.

¿Cuáles son estas intuiciones y sugerencias?

- ❖ En primer lugar la constatación de que resulta imposible distinguir entre un sistema de referencia acelerado y un sistema de referencia sometida a una fuerza gravitacional.
- ❖ En segundo lugar que de esta indistinguibilidad, y de las consecuencias de todo tipo que ello comporta, se infiere la igualdad entre inercia y gravitación.
- ❖ En tercer lugar que, de acuerdo con su interpretación de las transformaciones de Lorentz, espacio y tiempo dejan de ser entidades separadas para aparecer interconectados.
- ❖ En cuarto lugar que esta interconexión obligará a abandonar, como escenario en el que los fenómenos físicos se despliegan, el espacio y el tiempo como entidades separadas para sustituirlos por una entidad única a la que se denominará espacio-tiempo. Cobran, así, toda su validez las palabras de Minkowski: *Las visiones del espacio y el tiempo que quiero presentarles han emergido del sustrato de la física experimental, y en ello reside su fuerza. Son radicales. A partir de ahora el espacio por sí mismo, y el tiempo por sí mismo están condenados a desaparecer como meras sombras y sólo una cierta unión de ambos preservará una realidad independiente.*
- ❖ En quinto lugar que la gravitación afecta al espacio-tiempo de cada "lugar" y le dicta como curvarse.
- ❖ Por último que, al ser el movimiento bajo la acción de un campo gravitacional independiente de la masa del objeto móvil, es lícito pensar que ese movimiento viene ligado al "lugar" y que las trayectorias - *líneas geodésicas* - vienen marcadas por la estructura del tejido espacio-temporal en el que deslizan.



La fuerza gravitacional acabaría, así, convirtiéndose en una manifestación de la curvatura del espacio-tiempo del que habla Minkowski. ¡No hay acción a distancia ni misteriosas tendencias a moverse hacia extraños centros, tampoco espacios absolutos que contienen a, o tiempos absolutos que discurren al margen de, la materia!



La masa le dice al espacio-tiempo como curvarse y éste le dicta a la masa cómo moverse.

Es el contenido material quien crea el espacio y el tiempo.

Los Estados Alemanes y la unificación (1800-1871)

La invasión napoleónica de los territorios alemanes impulsó el sentimiento nacionalista, vinculado al romanticismo floreciente con su idea del *Volkgeist*, el espíritu del pueblo. Derrotado Napoleón, el Congreso de Viena de 1814-15 promueve la alianza de 39 estados alemanes, entre los que



desdellan Austria, gobernada por los Habsburgo, y Prusia, por los Hohenzollern. Stein y Hardenberg reforman el estado prusiano: se permite a los burgueses comprar tierras y servir como oficiales en el ejército, la servidumbre es abolida y se concede amplio autogobierno a las ciudades.

Preocupado por el auge del liberalismo y del nacionalismo el canciller austriaco Metternich emite los Decretos de Carlsbad en 1819, que constituirán el mayor freno a la expansión de tales ideologías por los territorios alemanes. En 1830 se producen disturbios revolucionarios, pero será en marzo de 1848 cuando los levantamientos populares consigan poner en peligro la estructuras estatales de Austria y Prusia. La Asamblea de Francfort, con representantes de todos los estados alemanes, fracasa en su intento de crear una Alemania



unificada de modo liberal y constitucional. Antes de acabar el año triunfa la contrarrevolución. El Imperio Austriaco, que se había visto desmembrado por las revueltas nacionalistas, se transforma en el Imperio Austrohúngaro bajo el mandato (1848-1916) del emperador Francisco José, que aplicará una política conservadora, militarista y antinacionalista.



Tras la fracasada revolución proletaria el monarca prusiano Federico Guillermo IV establece en 1850 una nueva Constitución y un parlamento. En 1862 nombra canciller a Otto von Bismarck, que será el responsable de la política expansionista de Prusia. La primera guerra es contra Dinamarca, apropiándose de los ducados de Schleswig y Holstein. Tras su victoria en la guerra austro-prusiana de 1867 Prusia se convierte en la potencia hegemónica de la Confederación Alemana del Norte, que incluye a otros 21 estados. En 1870, tras derrotar a Francia, se apodera de Alsacia y Lorena. El 18 de enero de 1871 se proclama el Imperio Alemán, que en realidad es una federación de estados monárquicos que conservan sus propias leyes, su gobierno y su constitución. Fuera de la unión quedaba la población germana de Austria y Bohemia. El Imperio Austrohúngaro, tras el Compromiso de 1867, funciona como la unión de dos estados nacionales, el Imperio de Austria y el Reino de Hungría.





El imperio alemán 1871-1918

Tras la constitución del Imperio Alemán en 1871 bajo el mandato del kaiser Guillermo I la política alemana sigue dirigida por el canciller prusiano Bismarck, que gracias a una estrategia de alianzas internas variables logra impulsar una política de industrialización acelerada, proteccionismo económico y freno al poder de las iglesias y de los grupos socialistas. En los países industrializados el capitalismo entra en su fase imperialista y consigue controlar la amenaza socialista mediante un incremento de los salarios en términos reales, de un 50% para el período 1870-1900, gracias al aumento de la productividad, la mundialización de la economía, la acumulación de capital y el descenso de precios de los artículos de primera necesidad. La innovación tecnológica hace que entre 1875 y 1905 se cuadruplique el número de patentes. En 1900 Alemania ya produce más acero que Francia y Gran Bretaña juntas. Berlín pasa de 100.000 habitantes en 1800 a 2.700.000 en 1900. En 1885 Bismarck convoca a las potencias europeas más Estados Unidos para repartirse África en la Conferencia de Berlín. En 1888 sube al trono el kaiser Guillermo II que obliga a Bismarck a retirarse y emprende una política militarista apoyada en la construcción de una enorme marina de guerra, con vocación de expansionismo europeo y colonial.

En 1875 se crea el Partido Social Demócrata alemán, formado por grupos seguidores de Marx y Lassalle, pero la política de Bismarck los forzará a la clandestinidad hasta 1890. En 1898 Edward Bernstein propondrá en *Socialismo evolucionista* cambiar la estrategia revolucionaria por la parlamentaria; Karl Kautsky se opondrá a esa tendencia revisionista. En las elecciones de 1912 consigue ser el partido más votado, aunque queda fuera del gobierno. Otro partido fuerte, el Zentrum, árbitro del parlamento durante largos períodos, con gran implantación en los estados católicos sureños, defiende una política conservadora y antimoderna que se inspira en la doctrina social de la Iglesia de Roma. La aristocracia prusiana terrateniente y el ejército siguen teniendo un gran peso en el gobierno.

El escenario político europeo de principios del siglo XX está marcado por la rivalidad entre la Triple Alianza -Imperio Alemán, Imperio Austrohúngaro e Italia - y la Triple Entente -Francia, Rusia y Gran Bretaña. La crisis de los Balcanes, la anexión de Bosnia por Austria en 1908 y la intervención de Alemania en Marruecos producen serias fricciones diplomáticas. El asesinato del archiduque Francisco Fernando, príncipe heredero del Imperio Austrohúngaro, el 28 de junio de 1914 en Sarajevo desata las hostilidades. En pocas semanas Austria declara la guerra a Serbia, Alemania la declara a Rusia y a Francia. Otras potencias menores se irán uniendo a ambos bandos. La revolución soviética de octubre de 1917 y la entrada en guerra de Estados Unidos serán acontecimientos decisivos en la fase final del conflicto. El armisticio se firma en noviembre de 1918. Austria y Hungría se convierten en repúblicas, surgen los nuevos estados de Checoslovaquia y Yugoslavia, el kaiser Guillermo II abdica y se instaura la llamada República de Weimar. La guerra ha dejado 10 millones de muertos en los campos de batalla.



El período de entreguerras

La paz de Versalles, en 1919, impone duras condiciones a la Alemania derrotada: pérdida de Alsacia, Lorena, Schleswig, Prusia Occidental, parte de Silesia y todas las colonias africanas (Camerún, Togo, África oriental alemana y África sudoccidental alemana) y en los mares del sur Nueva Guinea y otras islas. Su ejército queda reducido a un máximo de 100.000 hombres y se prohíbe el reclutamiento obligatorio. Una Asamblea Nacional en Weimar redacta una nueva Constitución, que hace de Alemania una república de soberanía popular con 25 *lander* -los antiguos estados- con amplia autonomía económica y cultural. La pérdida de buena parte de los yacimientos de hierro y carbón, así como las onerosas reparaciones de guerra a los estados vencedores, lastran el despegue económico de la posguerra. La hiperinflación produce una enorme desconfianza social respecto a los políticos.

Son tiempos socialmente convulsos: a la lucha de clases se suma la pugna entre nacionalistas y federalistas, además de los enfrentamientos religiosos entre protestantes y católicos. En 1919 es abortado el levantamiento espartaquista, de tendencia comunista radical, siendo asesinados sus dirigentes Karl Liebknecht y Rosa Luxemburgo. Ese año se crea la III Internacional, mediante la cual Rusia trata de intervenir en los asuntos internos de los países europeos. El gobierno y el parlamento alemán están en manos de los partidos socialistas, aliados a otros partidos centristas menores. En 1920 se crea el Partido Nacional Socialista de los Obreros Alemanes, del que forma parte Hitler. Mueren en atentados los ministros Erzberger (1921) y Rathenau (1922). En 1924 se firma el Convenio Dawes para hacer viable el pago de las reparaciones de guerra.

La Gran Depresión de 1929, iniciada en los Estados Unidos, se traslada a Europa, afectando a todos los sectores económicos. Alemania ve crecer hasta seis millones el número de parados. Los nazis



capitalizan el descontento social y pasan de tener 12 escaños en 1928 a 107 en 1930 y a 230 en 1932, convirtiéndose en el partido más votado. Uno de sus ejes ideológicos es el antisemitismo. En enero de 1933 Hitler es nombrado canciller. De inmediato comienza la transformación de la democracia en dictadura: son



abolidos los antiguos Estados y se disuelven los partidos políticos, excepto el nazi; mediante la policía secreta, la Gestapo, los Tribunales del Pueblo y los campos de concentración se consigue aplastar toda disidencia; se prohíben las huelgas y se inicia un amplio programa de obras públicas para dar trabajo a la población.

En 1935 Hitler retoma la política armamentista, en contra de los acuerdos de Versalles. En 1938 Alemania se anexiona Austria y parte de Bohemia, y en 1939 Bohemia-Moravia. Mientras tanto la Italia de Mussolini se apodera de Albania. En agosto Rusia y Alemania firman un pacto de no agresión. El 1 de septiembre el ejército alemán inicia la invasión de Polonia. El día 3 Francia e Inglaterra declaran la guerra a Alemania. En abril los alemanes invaden Noruega. En mayo atacan Holanda, Bélgica y Francia. En junio de 1940 Francia capitula ante el avance alemán. Estabilizado el frente occidental Hitler decide invadir Rusia en junio de 1941. Pronto se abre otro frente en el Lejano Oriente: tras el bombardeo de Pearl Harbour Gran Bretaña y Estados



Unidos declaran la guerra a Japón. Poco después Alemania e Italia declaran la guerra a Estados Unidos. En 1942 y 1943 los escenarios de los grandes combates son el norte de África y el sudoeste de Rusia. En febrero de 1944 Roosevelt, Churchill y Stalin se reúnen en Yalta para diseñar el reparto de Europa cuando acabe la contienda. En junio los ejércitos aliados desembarcan en Normandía y cambia el signo de la guerra: los alemanes empiezan a retroceder en el frente oriental y en el occidental. El 30 de abril Hitler se suicida y en mayo Alemania se rinde. En agosto las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki obligan a Japón a rendirse. La guerra ha dejado tras de sí unos 35 millones de muertos.



CIENCIA ALEMANA

La percepción que la burguesía centroeuropea tenía de la época anterior al estallido de la Primera Guerra Mundial queda reflejada en las palabras con las que la definió el escritor Stefan Zweig: *edad de oro de la seguridad*. Todo parecía asentarse sobre el fundamento de la duración y el propio Estado era considerado la garantía suprema de esta estabilidad: *Dios, Patria y Ciencia* constituían los pilares sobre las que se apoyaba un jerarquizado y autoritario sistema político en el que cada cosa daba la sensación de estar en su lugar.

En el tablero mundial, sin embargo, se estaba librando una batalla por el control de nuevas zonas de influencia colonial, a la que Alemania, en palabras del sociólogo Max Weber, *no podía permanecer ajena si no quería convertirse, pese a su pujante potencial económico, en una mera Suiza*.

No es extraño que el sentimiento nacional, imprescindible como elemento de unión frente a “los otros”, el ascenso de un militarismo, vital para cualquier proyecto de expansión y conquista, y la interiorización de la necesidad de poderes fuertes, capaces de llevar a buen término esa empresa, se vieran auspiciados desde los centros de decisión y acabaran calando en la sociedad europea de la época.

Sobre este trasfondo se desplegaba la actividad de las instituciones universitarias alemanas. No es sorprendente, pues, que en los momentos de crisis que siguieron al estallido de la Primera Guerra Mundial, se mantuvieron en la efímera y agitada República de Weimar y alcanzaron su cenit durante el ascenso e instalación del nazismo, la élite cultural alemana se comportara del modo en que lo hizo.

Una de las primeras manifestaciones de este comportamiento la encontramos en la redacción y publicación del llamado *Manifiesto de Fulda*, firmado por 93 prestigiosos intelectuales, entre los que se encontraban Max Planck, Paul Ehrlich, Fritz Haber y Richard Willstätter: en él se defendía la justa causa alemana y la invasión de la neutral Bélgica, al tiempo que se justificaban, como actos de autodefensa, las atrocidades cometidas por las tropas alemanas en Lovaina. Patriotismo e identificación con el Estado.

Ehrlich, Haber y Willstätter eran judíos y sus vidas y actitudes respondían a un patrón de comportamiento que Zweig define así: [...] *la adaptación al medio del pueblo o país en cuyo seno viven, no es para los judíos sólo una medida de protección externa, sino también una profunda necesidad interior. Su anhelo de patria, de tranquilidad, de reposo y de seguridad, sus ansias de no sentirse extraños, les empujan a adherirse con pasión a la cultura de su entorno*. Así, a pesar de que sólo el 1% de la población alemana - unas 600.000 personas - era judía, su presencia en la comunidad educativa era notable: el 20% del cuerpo total docente en las ramas de Ciencias y más del 25% en Física. Esta presencia iba a ser utilizada reiteradamente en la campaña emprendida por Lennard y Stark contra la física moderna a la que catalogarían como “física judía”.

La llegada de los nazis al poder iba a alterar, de forma radical, el status de los judíos en la sociedad alemana y, en particular, en la Universidad. En abril de 1933 la llamada “Ley de Restauración del Servicio Civil” ordenaba la expulsión de todos los funcionarios que no fueran de origen ario; más de 1600 universitarios y entre ellos un centenar de físicos se vieron obligados a abandonar sus puestos y fueron sustituidos por personas afectas al régimen o, al menos, no sospechosas. No hubo protestas estudiantiles ni manifestaciones públicas de rechazo por parte de los colegas arios, quienes, salvo honrosas excepciones, aún en el caso de no identificarse políticamente con el régimen prefirieron guardar un ominoso silencio. Leo Szilard describe la esencia de su comportamiento en estos términos: [...] *¿Si me opongo, qué bien puedo hacer? No mucho, sólo perder mi influencia. ¿Por lo tanto, por qué oponerse?. El aspecto moral estaba completamente ausente o era muy débil en sus argumentaciones*.

Mientras se me permita elegir, sólo viviré en un país en el que haya libertades políticas, tolerancia e igualdad de todos los ciudadanos ante la ley. La libertad política implica la libertad de expresar las propias opiniones políticas verbalmente y por escrito; la tolerancia implica respeto por todas y cada una de las creencias individuales. Estas condiciones no existen en Alemania hoy.



Max Planck, laureado con el Nobel en 1919, es un ejemplo ilustrativo del modo en que las tensiones de la época influyeron en la vida académica e intelectual del momento. Su prestigio, como científico y como persona, lo convirtieron en el portavoz de la ciencia alemana; por ello, las posiciones que adoptó en distintos momentos tuvieron una enorme influencia sobre la comunidad universitaria. Patriota convencido y hombre de orden defendió en todo momento, por encima de cualquier otra consideración y a pesar de renuncias dolorosas, la independencia de la ciencia frente a la política. Observador atento de una realidad que negaba *de facto* esta pretensión dirigió sus esfuerzos a mantener la solvencia y profesionalidad de la Academia y las Instituciones Científicas oponiéndose a su ocupación por simpatizantes nazis. Su actitud le obligó a múltiples silencios y cesiones y también, aunque en menor medida, a momentos de resistencia frente al poder. Sus críticos

le tildarían de acomodaticio, insensible e, incluso, de colaboracionista.

La Academia Prusiana de Ciencias se siente particularmente molesta por las actividades de agitador que Einstein lleva a cabo en países extranjeros, dado que tanto esta institución como sus miembros siempre se han sentido hondamente ligados al Estado prusiano y, si bien en política se han mantenido al margen estricto de toda parcialidad partidista, siempre han sostenido y guardado fidelidad a la idea nacional. Por estas razones no existen motivos para lamentar la renuncia de Einstein.



El comportamiento de **Albert Einstein** fue atípico dentro del estamento académico alemán. Pacifista convencido, militó activamente contra la Guerra y se mantuvo alejado de la fiebre nacionalista que contagió a la mayor parte de la intelectualidad europea de la época. Crítico con la identificación de la Universidad con el Estado pronto se convirtió en el centro de las campañas antisemitas que se desataron en la Alemania de entreguerras y alcanzaron su cenit bajo el poder nazi. Emigrado a Estados Unidos y alarmado por la eventualidad de que Alemania pudiera fabricar la bomba atómica sacrificó sus convicciones pacifistas dando su apoyo al proyecto atómico aliado. Los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki le sumieron en una profunda crisis.

Me agrada ver que [...] tu antiguo amor por la bestia rubia se ha enfriado un poco [...]. Espero que no regreses a Alemania. No es ninguna bicocha trabajar para un grupo intelectual formado por hombres que se quedan de brazos cruzados ante delincuentes comunes y que incluso, hasta cierto punto, simpatizan con esos delincuentes. No pueden desilusionarme, porque nunca sentí ningún respeto, compasión o simpatía por ellos, aparte de unas pocas personalidades excelentes (Planck 60% noble, y Laue 100%).

Carta de Einstein a Haber, 19 de mayo de 1933

Fritz Haber, Premio Nobel de Química en 1918, es uno de los exponentes máximos no sólo de la estrecha vinculación que se produjo en la Alemania de finales del siglo XIX y comienzos de XX entre la ciencia y la industria sino también un ejemplo paradigmático de los intentos de integración de la etnia judía en la sociedad en la que vivía. Durante la Primera Guerra Mundial puso sus conocimientos científicos al servicio del Estado liderando la organización de la industria para la guerra. Desde su Instituto de investigación desarrolló el proceso Bosh-Haber de fijación del nitrógeno, esencial para la producción del ácido nítrico que requería la agricultura y la industria de los explosivos, y activó la investigación sobre armas químicas: a él se debe la elaboración del gas tóxico que tantas bajas iba a producir en la larga guerra de las trincheras. Su identificación con la patria alemana y sus méritos no le evitarían, sin embargo, acabar siendo proscrito por el régimen nazi. Dimitiría de su puesto al frente del Instituto Kaiser Guillermo al entrar en vigor la Ley de Restauración del Servicio Civil que apartaba a los judíos de la Administración del Estado.



Física alemana versus Física judía

Algunas de las personalidades científicas que permanecieron en Alemania durante el periodo nazi volcaron sus energías en la protección de su autonomía frente a las intromisiones políticas. Las amenazas a esta autonomía adoptaron, básicamente, dos formas que aparecen a menudo entrelazadas e, incluso, confundidas: por un lado la ocupación de puestos en instituciones académicas y de investigación como consecuencia de las vacantes producidas por la expulsión de los científicos judíos mediante la Ley de Restauración del Servicio Civil y, por otro, los ataques que bajo la bandera de "Física alemana contra Física judía" fueron lanzados por Lenard y Stark contra la preeminencia de la vertiente teórica en el aparato rector de la Física alemana. Parece claro que, en un Estado como el nazi, la batalla, y la victoria, exigían no sólo aliados en el aparato de poder sino, al mismo tiempo, compromisos con éste. ¿Donde se establece, entonces, el límite entre colaboración y oposición al régimen? ¿Están justificadas las palabras de Planck a Einstein recordándole que *el valor de un acto reside no en los motivos que hay detrás de él sino en las consecuencias que genera*?

La teoría de la Relatividad es un fraude judío, como uno podía haber sospechado desde el principio de haber tenido un conocimiento racial mayor que el que entonces se poseía, ya que su autor, Einstein, es judío. Mi insatisfacción es aún más intensa porque un porcentaje elevado de representantes de la física se han conformado a este modo de hacer típicamente judío.

Philipp Lenard, Recuerdos

Johannes Stark, Premio Nobel en 1919 es, junto a **Philipp Lenard**, también galardonado con este premio en 1905, el representante más claro de la vinculación de la ciencia alemana con el nazismo. Afiliado al partido nazi abanderó, bajo el disfraz de la defensa de la ciencia "empírica" frente a la "dogmática", la lucha contra lo que definió como *física judía* - de la que Einstein, Planck y Heisenberg eran, a su juicio, sus representantes más conspicuos-. Sus intentos para convertirse en el *Führer* de la ciencia alemana encontraron siempre la oposición de Planck, von Laue y del grupo de físicos que les apoyaban. Detenido al finalizar la Guerra fue condenado a cuatro años de prisión y sometido a un proceso de desnazificación.



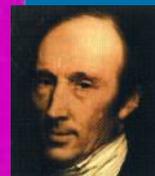
Werner Heisenberg, nacido en 1901, pertenece a una generación que maduró en el periodo de entreguerras. Las tensiones de una época convulsa y las restricciones de la política de reparaciones impuesta por los vencedores de la Primera Guerra hicieron de él un ferviente patriota. Tildado de "judío blanco" por los representantes de la "física alemana" mantuvo una actitud ambigua "a lo Planck" que, finalmente, acabaría por ser de colaboración con el régimen nazi: desde septiembre de 1939 participa en el programa de investigación sobre la fisión del Uranio asumiendo paulatinamente labores de dirección. Al finalizar el conflicto es arrestado y posteriormente trasladado junto a otros científicos a la zona de ocupación británica donde se les interroga sobre el Programa Nuclear alemán. Reincorporado a la vida científica en 1946, como director del Instituto de Física Kaiser Guillermo (luego Max Planck) y en un intento de desnazificar su comportamiento se construyó la ficción de que en realidad habría contribuido a ralentizar los trabajos de construcción de la bomba atómica alemana. Nunca admitió haber cometido errores o haber actuado inmoralmente.

Y NAZISMO

LA MATEMÁTICA ALEMANA

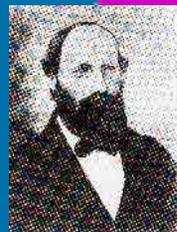


La matemática a principios del siglo XIX era una disciplina muy respetada por su condición de “verdadera” y exacta. Francia, y en particular París, era el centro neurálgico de su desarrollo, que tenía en **Cauchy** a su máximo representante. En Göttinga, **Gauss**, la gran figura de la matemática alemana de la primera mitad del siglo XIX, propició la impresionante eclosión de la matemática alemana de la segunda mitad del siglo, base de toda la matemática actual.



Creció impetuosamente durante el siglo XVIII, la matemática era un gigante con los pies de barro. El uso de cantidades infinitesimales que se desvanecían, auténticos “fantasmas” denunciados por Berkeley a mitad del siglo XVIII, iba poco a poco repugnando a la sensibilidad y buen criterio de los matemáticos. El concepto de *límite* iba perfilándose paulatinamente hasta asumir con **Weierstrass** y su notación $(\epsilon-\delta)$ la formulación de todos hoy conocida.

La matemática, al igual que las otras ciencias, tiende a independizarse en ese proceso de especialización que va a dominar todo el siglo. Concretamente, la matemática tenderá a sacudirse el yugo de lo “real”, e irrumpirá lo “abstracto”, al igual que en las artes plásticas, dando curso libre a la creatividad.



Después de dos mil años de diversos intentos de demostrar el famoso quinto postulado de Euclides a partir de los cuatro primeros, se empezaba a sospechar de su independencia con respecto a ellos. Pero era tan duro para la intuición aceptar lo contingente e hipotético de la geometría euclídea, que Gauss no llegó a publicar sus resultados sobre *geometrías no euclídeas*. Habrá que esperar al segundo tercio del siglo para que la comunidad matemática contemple incrédula las investigaciones, entre otros, del gran matemático alemán **Riemann**. Hoy día, una variedad riemanniana es un espacio n -dimensional, cuya geometría intrínseca está determinada por una forma cuadrática que nos proporciona el



cambio infinitesimal en la distancia ds . Einstein pudo aplicar las ideas de Riemann al continuo 4-dimensional del espacio-tiempo de su Teoría de la Relatividad.

EN EL SIGLO XIX



El otro gran tema pendiente era el de la estructura matemática del continuo, del número real. **Dedekind**, con un procedimiento similar al empleado por el matemático griego Eudoxo, “inventó” el *número real* y le otorgó un riguroso certificado de existencia. Estrechamente relacionado con ello está el concepto de *función de variable real*, verdadero paradigma de la matemática en la era moderna. Justamente, mientras estudiaba ciertos dominios de funciones reales, esto es, ciertos subconjuntos de números reales, **Cantor** iba a interesarse por la comparación de conjuntos infinitos. Él habría de crear, durante el último

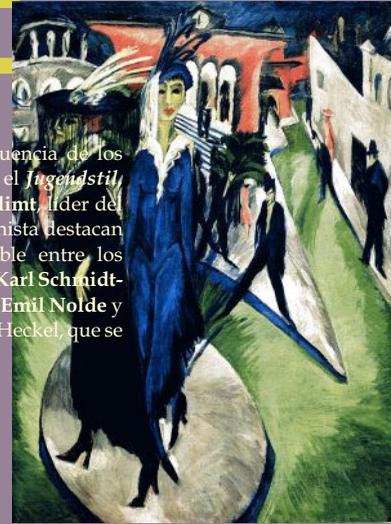
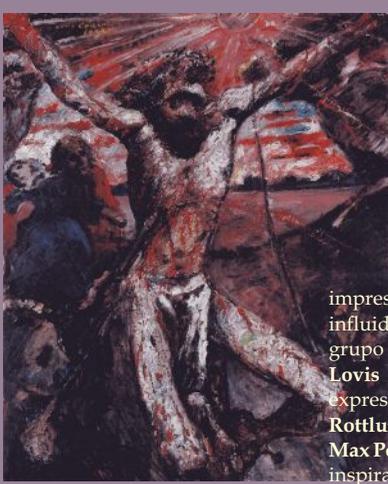
cuarto de siglo, con la *teoría de conjuntos* y sus *números transfinitos*, un lenguaje matemático que insertaba rigurosamente el infinito en una totalidad actual y estática.

La teoría de conjuntos cantoriana conmocionó el mundo de los matemáticos. Sus representantes se dividían entre los que, como **Kronecker**, rechazaban de plano la reaparición del infinito actual y la existencia de entes matemáticos que no se pudieran construir en un número finito pasos, y quienes, como **Hilbert**, saludaron la nueva, original y rigurosa forma de tratar con el infinito matemático y veían abrirse con ella las matemáticas a un *paraíso de posibilidades*.



ARTE

En la pintura alemana de la década final del siglo XIX es notoria la influencia de los impresionistas franceses, como queda patente en la obra de **Max Liebermann**. Surge el *Jugendstil*, influido por el *Art Nouveau* y por el arte japonés. A principios del siglo XX **Gustav Klimt**, líder del grupo *Viena Sezession*, populariza su pintura decorativa. En la tendencia postimpresionista destacan **Lovis Corinth** y **Max Slevogt**. El noruego **Munch** ejerce una influencia notable entre los expresionistas alemanes. Esa es la tendencia del grupo *Die Brücke*, fundado en 1905 por **Karl Schmidt-Rottluff**, **Fritz Bleyl**, **Ernst Ludwig Kirchner** y **Erich Heckel** en Dresde, al que se unen **Emil Nolde** y **Max Pechstein**. Una de sus tendencias es el primitivismo, como es el caso de Kirchner y Heckel, que se inspiran en el arte africano y de las islas del Pacífico.



Entre los artistas de la época que alcanzarán una mayor proyección internacional figuran **Oskar Kokoschka** y **Egon Schiele**, expresionistas austriacos, **Vassili Kandinsky**, pintor ruso establecido en Munich, pionero del arte abstracto, cuyos libros obtienen gran resonancia, el suizo **Paul Klee**, uno de los mayores exponentes del arte abstracto, **Max Ernst**, el más famoso de los pintores surrealistas alemanes, amante



de los collages, fotomontajes y decalcomanías, y **Georg Grosz**, que alcanza gran notoriedad con sus pinturas expresionistas caricaturescas. **Kandinsky** y **Franz Marc**

fundan a finales de 1911 el grupo *Der Blaue Ritter*, al que se vinculan **Klee**, **August Macke**, **Jean Arp** y **Lyonel Feininger**. Hacia 1915 un grupo de artistas, encabezado por el poeta y pintor **Tristan Tzara**, funda en Zúrich el *movimiento dadaísta*, cuyo representante en Alemania es **Kurt Schwitters** con sus collages. En los años veinte surge la tendencia *Die Neue Sachlichkeit* (*Nueva Objetividad*), en la que destacan **Max Beckmann**, **Otto Dix** y **Grosz** en la línea de la crítica social, **Alexander Kanoldt** y **Georg Schrimpf** en la línea de la pintura metafísica, y **Georg Scholz** y **Walter Spies** en la vertiente naíf.



DE VANGUARDIA

En la escultura alemana de principios de siglo la figura más prominente es **Wilhelm Lembrück**, discípulo de Rodin, con sus desnudos expresionistas. **Kurt Schwitters** construye ensamblajes con objetos usados de la vida cotidiana. **Moholy-Nagy** produce esculturas móviles. **Kathe Kollwitz**, defensora del arte social, populariza sus grupos escultóricos de madres e hijos. Las figuras de **Georg Kolbe** muestran el culto al cuerpo.

En 1919 el arquitecto **Walter Gropius** funda en Weimar el movimiento *Bauhaus*, promotor de la arquitectura funcional, que tendrá una profunda influencia en todas las artes hasta que se disuelva en 1933 por la presión del nazismo. Construir, decía Gropius, es algo biológico, no meramente estético. Uno de sus objetivos consiste en adaptar el diseño de objetos a la cultura de masas, la unión del arte y la producción industrial. La escuela de la Bauhaus tendrá como profesores a **Kandinsky**, **Klee**, **Moholy-Nagy**, **Schlemmer** y **Mies van der Rohe**. Con la llegada de los nazis al poder se abre un período de enfrentamiento con el arte de vanguardia, al que califican de arte degenerado, lo que provoca el exilio de muchos de los más destacados artistas.



(1890-1939)

LA PANTALLA DEMONIACA

El periodo que se extiende desde 1913, fecha en la que se realiza *El estudiante de Praga* (*Der Student von Prag*), hasta 1933, año de realización de *El testamento del Dr. Mabuse* (*Das Testament des Dr. Mabuse*), aparece repleto de acontecimientos que van a marcar de forma indeleble a la sociedad alemana. No es extraño, pues, que impriman su sello en todos los ámbitos de la vida cultural y, más en concreto, en una nueva forma de arte - el cine - que se mostrará especialmente dotada para reflejar el clima moral, sombrío a un tiempo que exaltado, del momento.

El mundo parece haber escapado a todo control y los objetos, a veces dotados de poderes mágicos y tenebrosos y otras convertidos en personificaciones de Moloch, adquieren vida autónoma.

Para el artista expresionista, que busca representar no la realidad objetiva sino las emociones subjetivas y las respuestas que los objetos y los acontecimientos provocan en él, el arte cinematográfico, con su capacidad para ilustrar contrastes violentos o estados de ánimo turbados, mediante el juego del clarooscuro y las sombras, se convertirá en un modo ideal de expresión. Las visiones provistas de un estado de ánimo vago y confuso no podían encontrar un vehículo más adecuado, concreto e irreal a la vez.

Así habla Zaratustra, el desasosiego y la inquietud de los tiempos: ¡Qué me importa mi sombra! ¡Que corra tras de mí! Huyo y escapo de ella... Pero cuando he mirado en el espejo, he dado un grito y mi corazón se ha alterado: pues no soy yo al que he visto, sino el rostro gesticulante del demonio[...].

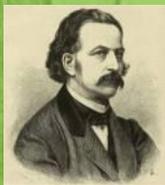


El Golem; El gabinete del Doctor Caligari; Las tres luces; Nosferatu, el vampiro; Doctor Mabuse, el jugador; Sombras; El último Metrópolis; Fausto; Berlín, sinfonía de una gran ciudad; Espías; El ángel azul; Berlín Alexanderplatz; M, el vampiro de Düsseldorf y El testamento

del Doctor Mabuse, ofrecen una muestra elocuente de, como señala Lottó Eisner en su libro *La pantalla demoníaca*, la eterna atracción de los alemanes hacia lo oscuro e indeterminado: *El expresionista no ve, tiene visiones; la cadena de los hechos - fábricas, casas, enfermedades, prostitutas, gritos, hambre - no existe; tan sólo existe la visión interior que provocan.*



LITERATURA ALEMANA



En la literatura alemana de finales del XIX siguen vigentes los modelos narrativos del realismo y el naturalismo francés, con su fuerte carga de crítica social, como se aprecia en la obra de **Theodor Fontane** y **Wilhelm Raabe**. En *Effi Briest* (1898) se ocupa Fontane del papel social de la mujer y en *Der Stechlin* (1899) traza un preciso retrato de la aristocracia de Brandenburgo. Raabe escribió novelas históricas y relatos sobre la clase media, perfilando caracteres singulares y con un gran pesimismo schopenhaueriano de fondo. El naturalismo de los dramas y novelas de **Gerhart Hauptmann**, defensor del proletariado y premio Nobel en 1912, alcanza su cima en *Los tejedores de Silesia* (1892) y *El chófer Henschel* (1898). La poesía de los comienzos del siglo XX está marcada por el simbolismo de George, Rilke, Hofmanstahl y el expresionismo de Trakl y Benn. Los poemas de **Hugo von Hofmannsthal** destilan una exquisita melancolía, como los de *La muerte y el loco* (1893). Su fama llegó a escribir los libretos de algunas óperas de Richard Strauss, como *El caballero de la rosa* y *Ariadna en Naxos*. **Stefan George** se inspira en el ideal griego del poeta como revelador de lo

divino y lo sublime, según se ve en *El tapiz de la vida y los cantos del sueño y de la muerte* (1900). En los *Cuadernos de Malte Laurids Brigge* (1910) **Rainer Maria Rilke** vuelca los problemas existenciales que tensan la vida interior del artista. En *Elegías del Duino* y *Sonetos a Orfeo*, obras de 1922, intenta superar el decadentismo de la época. El expresionismo poético tiene sus mejores representantes en **Georg Trakl** y **Gottfried Benn**. Los poemas de Benn retratan con cinismo la degeneración física y moral, como en *Morgue* (1907) y *Carne* (1912). Aunque Trakl se suicidó muy joven, superado por los horrores de la guerra, tuvo amplia influencia en las décadas posteriores con *Poemas* (1913) y *Sebastián en el sueño* (1915).



El vienés **Arthur Schnitzler** se hizo popular con sus comedias y dramas psicológicos donde trata el egoísmo amoroso, el miedo a la muerte, el autoengaño y las máscaras sociales, como *Anatol* (1893), *Reigen* (1897) y *La ronda* (1920). En la dramaturgia expresionista sobresalen **Frank Wedekind**, **Georg Kaiser** y **Ernst Toller**. El conflicto entre la libertad sexual y la moral filitea de la burguesía es el tema central de Wedekind en su ciclo sobre Lulú, la mujer fatal, compuesto por *El espíritu de la tierra* (1895) y *La caja de Pandora* (1904). Sobre ese material Alban Berg escribiría una ópera y Pabst rodaría una película. Kaiser empieza con obras que escenifican el conflicto del hombre con un mundo de máquinas donde impera la maximización de beneficios, como *De la mañana a la noche* (1916), para centrarse finalmente en el tema del amor, como en *El amante fantasma* (1928). Entre los dramas sociales de óptica marxista de Toller el más famoso es *El hombre y las masas* (1923), escrito en prisión. Las obras antiburguesas de **Bertolt Brecht** alcanzaron rápida fama: *La ópera de cuatro cuartos* (1928), *Ascensión y caída de la ciudad de Mahagonny* (1928), *Madre Coraje y sus hijos* (1941) y *La vida de Galileo* (1943).



Los grandes narradores del período de entreguerras son los alemanes **Thomas Mann**, **Hermann Hesse** y **Alfred Döblin**, los checos **Frank Kafka** y **Frank Werfel**, y los austriacos **Karl Kraus**, **Robert Musil**, **Hermann Broch** y **Joseph Roth**. En *Los Buddenbrook* (1900) Mann describe las virtudes y defectos de la burguesía en una saga familiar de tres generaciones. En *Muerte en Venecia* (1912) enfrenta erotismo, autodestrucción y voluntad de estilo en la vida del artista. *La montaña mágica*

(1919) retrata el mundo como un sanatorio donde luchan entre sí la tentación de abandonarse a la enfermedad y la voluntad de vivir. Entre 1933 y 1943 publica su tetralogía *José y sus hermanos* donde intenta trazar la separación entre mito e historia, entre culpa colectiva y responsabilidad personal. Las obras de Hesse muestran el descontento con las convenciones sociales, la búsqueda de la autorrealización y una espiritualidad de impronta oriental: *Demian* (1919), *Siddharta* (1922), *El lobo estepario* (1927). Döblin en *Montañas, mares y gigantes* (1924) describe una Humanidad desarraigada de la Naturaleza que explota; su mayor éxito fue *Berlin Alexanderplatz*, donde la ciudad se convierte en protagonista de las historias de sus personajes. La maestría narrativa de Kafka recorre sus cuentos, como *Un artista del hambre* (1924), sus relatos, como *La metamorfosis* (1915), y sus novelas inacabadas *El proceso*, *El castillo* y *América*. Mezclando lo fantástico con lo real se describe el peso del poder y de la ley sobre la vida cotidiana, la desdicha

producto de la culpa y la angustia, la dificultad de comunicación, la burocratización de la existencia.

Werfel escribe en 1933 *Los cuarenta días de Musa Dagh*, novela histórica sobre la matanza de los cristianos armenios por los turcos. Judío convertido al cristianismo, en el exilio visita Lourdes y publica *La canción de Bernadette* (1941), buena muestra de su espíritu religioso. Karl Kraus fundó en 1899 la revista *Die Fackel*, muy popular gracias a su carga satírica. Escribió cuadernos de poemas, publicados como *Palabras en verso*, ensayos como *Ocaso del mundo por magia negra*, donde fustiga al periodismo, y un drama contra la guerra: *Los últimos días de la Humanidad* (1922).



Musil inicia su carrera con una exitosa novela de iniciación, *Las tribulaciones del joven Törless* (1906), aunque su gran obra, inacabada, es *El hombre sin atributos* (1930-33), sátira de la alta sociedad del declinante Imperio austrohúngaro, en la que ocupan un lugar principal la locura y el erotismo. En los años 30 Broch publica su trilogía *Los sonámbulos*, exponiendo la decadencia europea, y en 1945 *La muerte de Virgilio*, extenso monólogo interior en que traza un paralelismo entre Roma en tiempos del poeta y el presente de Europa. Su estilo expresionista, que gusta de la experimentación técnica, mezcla poesía, ensayo, narración y drama. Se considera que *La marcha Radetzky* (1932) es la obra cumbre de Joseph Roth, cuya narrativa se centra en la



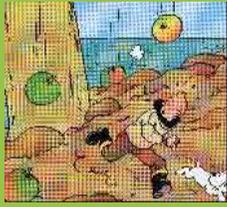
descripción del crepúsculo ideológico de la Viena de los Habsburgo, tratado asimismo en *La cripta de los capuchinos* y *La noche mil dos*, ambas de 1938.

1880 - 1945

VOLANDO...

UN PASEO POR LOS COMICS

¡Hay que reconocer que Superman es un caso excepcional!. Volar ... y no permanecer atado a tierra firme no está al alcance de todo el mundo. En fin, un superhéroe tiene privilegios.



Aristóteles afirmaba que los cuerpos más pesados caían antes que los ligeros, pero los héroes empezaron a sospechar que las cosas eran más complicadas.

¡A nosotros la experiencia nos ha hecho galileanos!



¡Vamos!, ¡vamos, Crispin! ¿Crees, acaso que Goliat caerá al mismo tiempo que nosotros? Veo que tu proceso de formación aún debe proseguir, porque no sólo debes aprender a pelear o a ejercitarte en las artes de la galantería y el amor, también debes conocer los hechos esenciales de la ciencia: los cuerpos más pesados caen más aprisa.

Capitán, ¡caemos al mismo tiempo!
¡No le resulta extraño!

¡Cáspita, el tuerto sigue a mi lado!

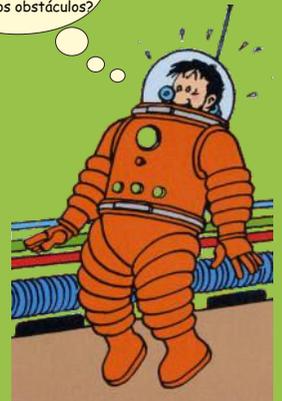
¡Dios mío, confiaba en que su cuerpo amortiguara mi caída, al llegar al fondo...



Finalmente, Einstein nos enseñó a liberarnos de nuestro propio peso, haciéndonos comprender que una caída no es otra cosa que un deslizamiento por el tobogán del espacio-tiempo.



¿Hay algún modo sencillo de evitar los obstáculos?



Y CAYENDO

Friedrich Nietzsche publica en 1872 *El origen de la tragedia*, donde interpreta la cultura griega como lucha entre lo apolíneo y lo dionisiaco. En 1883 concibe su obra maestra *Así hablaba Zaratustra*, en la que expone algunos de sus temas más característicos, como la muerte de Dios y el nihilismo, el superhombre, la voluntad de poder y el eterno retorno. Su autobiografía *Ecce Homo* (1888) es el preludio al ocaso de su razón. **Karl Marx** publica en 1875 la *Crítica al programa de Gotha*, donde analiza la obra de **Ferdinand Lassalle**. Trabaja en los tomos segundo y tercero de *El Capital*, analizando el capitalismo mediante las categorías de mercancía, valor de uso y de cambio, plusvalía, fuerza de trabajo, modo de producción, relaciones sociales de producción y desarrollo de las fuerzas productivas. **Friedrich Engels** extiende el materialismo histórico a la filosofía natural mediante el materialismo dialéctico; por entonces escribe *Filosofía de la Naturaleza* y el *Anti-Dühring* (1878).



Eugen Dühring es el más conocido representante del positivismo social, autor de una *Lógica y teoría de la ciencia* (1878). En los años 70 un grupo de médicos y fisiólogos constituye la avanzadilla del positivismo materialista: **Karl Vogt**, **Jakob Moleschöff**, **Emil Du Bois Reymond**, **Ludwig Büchner** y **Ernst Haeckel**. Este último es un zoólogo y darwinista social, célebre por su tesis de que la ontogenia recapitula la filogenia. De su obra *Los enigmas del mundo* (1899) se venden 400.000 ejemplares, lo que da una idea del interés del público alemán por la ciencia. En los años 80 aparece en escena el empiriocriticismo de **Richard Avenarius** y **Ernst Mach**. El primero publica en 1876 *Filosofía como pensamiento del mundo según el principio del mínimo gasto de fuerza* y en 1880 *Crítica de la experiencia pura*, donde se intenta comprender al hombre como relación entre el medio, las formas de expresión humanas, el sistema nervioso del individuo y la alimentación. Mach se dio a conocer con *La mecánica en su desarrollo histórico-crítico* (1883) donde pone en cuestión los conceptos de espacio y tiempo absolutos de la mecánica de Newton. Para él conocer es un proceso biológico y las sensaciones son la base de la ciencia. La investigación científica no hace sino proseguir el trabajo de adaptación del individuo al medio que realizan los órganos corporales y los comportamientos estandarizados.

Hay por entonces un retorno a la filosofía de Kant con el neocriticismo de las Escuelas de Marburgo y Baden, que intenta replantear los fundamentos, métodos y límites del conocimiento científico. Es un movimiento muy crítico con el positivismo, con la conversión de la ciencia en una metafísica absoluta y con la reducción de la filosofía a ciencia empírica. El neokantismo conecta con científicos como Helmholtz, para quien la estructura fisiológico-psíquica del sujeto funciona como una especie de apriorismo cognoscitivo. **Hermann Cohen**, que publica en 1883 *El principio del método infinitesimal y su historia*, considera que la física matemática debe ser el fundamento de la ciencia y que la filosofía debe estudiar la condiciones de validez de la ciencia. **Paul Natorp** publica en 1910 *Los fundamentos lógicos de las ciencias exactas*. En su obra extiende el criticismo a otros ámbitos, como la moral, el arte y la religión. **Ernst Cassirer** se ocupa de la física en *La teoría einsteiniana de la realidad* (1921) y en *Determinismo e indeterminismo en la física moderna* (1937). En *El problema del conocimiento* (1906-40), trata de demostrar que hacer ciencia consiste en buscar leyes, que son descripciones de relaciones funcionales entre objetos, principios de conexión, sin necesidad de sustancialismos. Windelband y Rickert de la Escuela de Baden, se interesaron especialmente por la distinción entre las ciencias históricas y las naturales. **Wilhelm Windelband** en *Historia y ciencia natural* (1894) dice que debe ser labor de la filosofía investigar si existe ciencia, es decir, conocimiento con valor de verdad y con validez universal. Distingue entre ciencias nomotéticas, que buscan regularidades y prestan más atención a lo general, y ciencias ideográficas, que se ocupan de fenómenos concretos e individuales. **Heinrich Rickert** considera que es tarea de la filosofía averiguar de qué modos consiguen las ciencias hallar la garantía de su validez universal y necesaria. Entre 1896 y 1902 publica *Los límites de la formación de los conceptos de las ciencias naturales*.

El historicismo filosófico se inicia en 1883 con el texto de **Wilhelm Dilthey** *Introducción a las ciencias del espíritu*. Es un movimiento que rechaza la reducción de las ciencias históricas al modelo de las ciencias naturales. Estudia las diferencias entre Naturaleza e Historia, así como entre sus métodos de estudio: explicación causal de lo natural y comprensión racional de lo histórico. La obra de Dilthey es una crítica de la razón histórica; afirma que las ciencias del espíritu han de construirse sobre el concepto de "Erlebnis", la experiencia vivida. **Georg Simmel**, en *Problemas fundamentales de la filosofía* (1910), introduce el relativismo al señalar que en función de sus propios valores los historiadores seleccionan los hechos históricos y las categorías intelectuales con que los interpretan. **Oswald Spengler** famoso gracias a *La decadencia de Occidente* (1918-1922), presenta el declinar de Alemania como símbolo del ocaso de la civilización occidental. Así como la Naturaleza es mecanicista la Historia es organicista y sus organismos son las civilizaciones, que nacen, crecen, maduran y mueren. En *El hombre y la técnica* (1931) muestra su distanciamiento respecto a la sociedad moderna construida sobre la explotación técnica de la Naturaleza. En *Los orígenes del historicismo* (1936) **Friedrich Meinecke** intenta superar el relativismo historicista mediante la búsqueda de lo eterno en el instante, de lo perenne en lo individual. Para **Max Weber** la ciencia es uno de los valores más característicos de la cultura occidental, una actividad inacabable por definición. Someter el mundo a cuantificación y medida no es un objetivo de la ciencia, sino tan sólo un procedimiento metódico útil en muchos campos. En *La ética protestante y el espíritu del capitalismo* (1905) pretende mostrar cómo la



FILOSOFÍA ALEMANA

moral calvinista impulsó de modo decisivo el desarrollo del capitalismo en ciernes. En *El trabajo intelectual como profesión* (1914) estudia la relación de la objetividad con la subjetividad, atendiendo a la enseñanza como forma de transmisión de la cultura.

En la Segunda Internacional (1889-1917) correspondió a los socialistas alemanes el papel de guía del proletariado europeo. **Karl Kautsky** fue su principal ideólogo, redactor de la parte teórica del *Programa de Erfurt* (1891) del Partido Socialdemócrata alemán. Flexibilizó el materialismo histórico en cuanto a las relaciones entre infraestructura y superestructuras. En *Concepción materialista de la historia* (1927) intenta enlazar el marxismo con el darwinismo social. **Eduard Bernstein** en *Los supuestos del socialismo y las funciones de la socialdemocracia* (1889) se aparta de la ortodoxia marxista, criticando por erróneas tesis como la pauperización del proletariado, la proletarización de las clases medias y la inexorabilidad del hundimiento capitalista. Frente a la revolución y la dictadura del proletariado defiende la vía democrática al socialismo. **Rosa Luxemburgo** expone en *La acumulación del capital* su teoría sobre el imperialismo como fase final del capitalismo. Acusa al bolchevismo de ser la dictadura de una élite burocrática. A partir de 1910 tiene gran influencia en los socialistas alemanes el austromarxismo, que rechaza el determinismo económico y prefiere considerar el materialismo histórico como un programa de investigación de los hechos económicos y sociales antes que como una metafísica de la Historia. En esta tendencia destacan **Max Adler**, con su obra *Causalidad y teleología en la disputa sobre la ciencia* (1910), y **Rudolf Hilferding** con *El capital financiero* (1911).

La interpretación del materialismo histórico que realiza **Ernst Bloch** en *Espíritu de la utopía* (1918) se propone recuperar el hegelianismo de Marx, y lo mismo hacen el húngaro **György Lukács** con *Historia y conciencia de clase* y el alemán **Karl Korsch** con *Marxismo y filosofía*, obras de 1923 que retoman la hegemonía de la dialéctica desde la categoría de totalidad. Lukács considera que la conciencia de clase, autoconocimiento crítico activo, es el nexo necesario entre teoría y praxis que permite al proletariado convertirse en sujeto de la Historia. Para Korsch la dialéctica materialista es el fundamento metodológico de la praxis emancipatoria del proletariado. En su biografía *Karl Marx* (1936) resalta los aspectos científicos y empíricos del materialismo histórico.

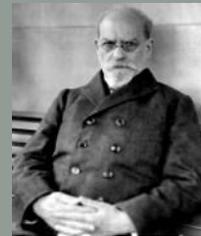
La fenomenología irrumpe en 1913 con la obra del matemático **Edmund Husserl** *Ideas para una fenomenología pura y una filosofía fenomenológica* (1913). En 1891 había publicado *Filosofía de la aritmética*, cuya crítica por Frege motivará un cambio antipsicologista y proformalista en su actitud filosófica. Con el método fenomenológico quiere distanciarse de la filosofía positivista e idealista. Mediante la “epojé” o suspensión del juicio -de las creencias filosóficas, ideas científicas, conceptos y nociones recibidos- hay que avanzar hacia la captación de las esencias eidéticas, las formas de existencia del mundo en la conciencia intencional humana. En *La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental* (1935) critica la pretensión de que la verdad científica sea la única verdad válida y la reducción de la racionalidad humana a la razón científica. **Max Scheler** aplicará el método fenomenológico a la actividad moral. En *Las formas del saber y la sociedad* (1926) considera que en cualquier época se dan tres tipos de saber implicados entre sí: el religioso, el metafísico y el técnico. En

Sociología del saber defiende que el monoteísmo creacionista judeocristiano, al mortificar y desanimar la Naturaleza, hace posible la empresa de su racionalización científica y su explotación técnica. La ontología de **Nicolai Hartmann** distingue cuatro tipos de seres ideales: entes matemáticos, formas lógicas, formas ideales o esencias de las cosas reales y valores morales. En *La construcción del mundo real* (1940) intenta articular una visión del mundo en cuatro planos: físico, orgánico, psicológico y espiritual.

En **Martin Heidegger** la fenomenología desemboca en una filosofía de la existencia. *Ser y tiempo* (1927) consiste en un análisis existencial del sujeto humano en cuanto se pregunta por el sentido del ser, que resulta caracterizado como “Dasein”, un estar ahí irreductible a presencia y objeto, porque es proyecto abierto al mundo. Al transformar el mundo el hombre se transforma a sí mismo. En 1933 es nombrado rector de Friburgo, con los nazis en el poder, y pronuncia su famoso discurso *La autoafirmación de la Universidad Alemana*. **Karl Jaspers** inaugura el existencialismo alemán con *Psicología de las concepciones del mundo* (1919). En 1937 fue expulsado de la universidad de Heidelberg por su antinazismo. Partiendo de que la filosofía y la ciencia se necesitan mutuamente hace notar que la actitud científica se caracteriza por la permanente apertura a la crítica. El científico debe tener conciencia metodológica de los límites de validez de la ciencia, porque ésta no puede guiar la vida, ni determinar su sentido, ni explicar el sentido de la ciencia, tareas que corresponden a la filosofía.

En los años veinte se crea el Instituto para la investigación social, origen de la Escuela de Frankfurt. Tras el ascenso nazi al poder sus miembros tuvieron que exiliarse. Entre ellos figuran **Friedrich Pollock** con su *Teoría marxista del dinero* (1928), **Henryk Grossmann** con *Ley de la acumulación y la quiebra en el sistema capitalista* (1929), **Karl-August Wittfogel** con *Economía y sociedad en China* (1931), **Walter Benjamin** y *El origen del drama barroco alemán* (1928), **Leo Löwenthal** con *Sobre la situación social de la literatura* (1932). Son **Theodor Adorno** y **Max Horkheimer**, con *Estudios sobre la autoridad y la familia* (1936), quienes darán al grupo su impronta hegeliano-marxista y freudiana. Otros componentes, como **Herbert Marcuse** y **Erich Fromm**, adquirirán gran popularidad posteriormente en su exilio americano.

[1870-1939]



Antes de la revolución que supuso la Mecánica Cuántica, la mayoría de los miembros de la comunidad científica admitían que el mundo en torno a nosotros gozaba de una existencia independiente o, expresado en otros términos, *tenía una realidad objetiva ajena a la observación*. Esta visión, a la que en esencia se mantuvo fiel Einstein, pasaría a ser problemática desde el momento en que la *escuela de Copenhague*, liderada por Niels Bohr, hiciera explícita su interpretación de los fenómenos del mundo de lo muy pequeño: en ella, no tiene sentido adscribir un conjunto completo de atributos a un objeto cuántico, antes de haber realizado sobre él un acto de medida; la Mecánica Cuántica es pues, en última instancia, una física de procesos y no de propiedades, una física de interacciones y no de atributos, ni siquiera de cualidades primarias de la materia.

La controversia que sostuvieron Einstein y Bohr a lo largo de muchos años tuvo dos fases diferenciadas:

- ✳ En la primera Einstein trató de encontrar ejemplos en los que se transgredían las limitaciones impuestas por el *Principio de indeterminación* de Heisenberg o lo que es lo mismo, ejemplos que mostraran la inconsistencia de la mecánica cuántica. La batalla, que se saldó con la victoria de Bohr, tuvo lugar fundamentalmente durante la 5ª y la 6ª Conferencia Solvay
- ✳ En la segunda el acento se trasladó hacia la demostración del carácter incompleto de la teoría cuántica y el arma utilizada se conoce como *el experimento E.P.R.*

La Mecánica Cuántica es, ciertamente, impresionante. Pero una voz interior me dice que no es aun la última palabra. Esta teoría nos dice mucho, pero no nos acerca más al secreto del "Viejo". En todo caso estoy convencido de que Él no juega a los dados...

Nos hemos vuelto "antipodeanos" en nuestras expectativas científicas. Usted cree en un Dios que juega a los dados, y yo en un mundo de existencia objetiva y leyes ordenadas y completas al que, de un modo salvajemente especulativo, trato de capturar...

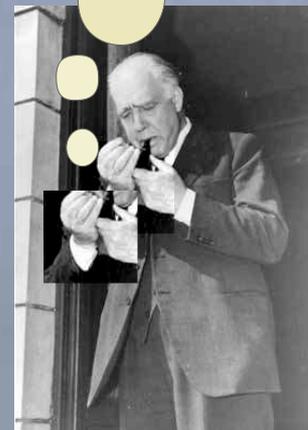
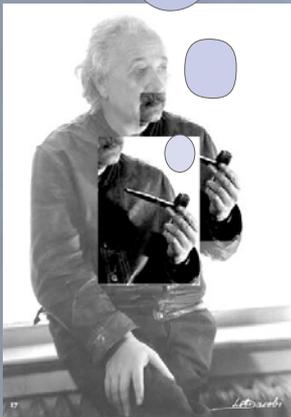
Ni siquiera el enorme éxito de la teoría cuántica me hace creer en el fundamental juego de dados, aunque nuestros colegas más jóvenes interpreten esto como un signo de senilidad. No tengo dudas de que llegará el momento en el que veremos cual de nuestras actitudes instintivas era la correcta.

Aunque el comportamiento ondulatorio y corpuscular de un objeto se excluyen mutuamente - lo que desde la perspectiva de la física clásica implica que sólo uno de ellos es posible -, ambos resultan - desde la perspectiva cuántica -, necesarios para la comprensión completa de las propiedades del objeto. A esta nueva situación la llamo "complementariedad". El que un objeto se comporte como onda o partícula depende de la elección del aparato usado para observarlo.

Defiendo, como modo más apropiado de expresarnos, que la palabra "fenómeno" se utilice exclusivamente para referirnos a observaciones obtenidas en circunstancias bien determinadas, incluida la descripción de todo el dispositivo experimental.

Es más, la descripción del estado de un sistema atómico antes de una medida está indefinida, teniendo sólo la potencialidad de tomar ciertos valores con cierta probabilidad.

Es equivocado pensar que la tarea de la Física es averiguar cómo es la Naturaleza. La Física se refiere a lo que nosotros podemos decir de ella.



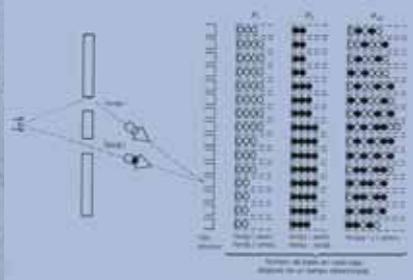
NO ESTABA PROSCRITO

CUANDO EL HUMO...

El desasosiego que produce el desafío radical de algunos presupuestos de esta extraña teoría aparece reflejado por el físico Alastair Rae con estas palabras: *Como muchas personas formadas en (o quizás deformadas por) la tradición de Copenhague, yo digo "Sí, es una ilusión. La partícula no tiene posición - no es realmente una partícula -, si no se diseña un experimento para hacer una medida de esta propiedad". No obstante, soy muy consciente de que estas ideas no surgen fácil y naturalmente sino que parecen ser una consecuencia forzada por el desarrollo de la física cuántica. Algunos investigadores del XIX argumentaban, desde una posición positivista, que la idea de átomo era un postulado que carecía de significado porque no podía ser sometido a prueba directa; sin embargo, todos nosotros aceptamos hoy en día la realidad de los átomos como un hecho objetivo directamente verificable. ¿No podría ser que la interpretación de Copenhague nos esté forzando equivocadamente a calificar como ilusiones cantidades que son por completo reales y que serán observadas cuando nuestro conocimiento y tecnología progresen lo suficiente? Pensamientos como estos son los que harían que la idea de las variables ocultas pareciese plausible y atractiva, ¡si no fuese porque ninguna teoría de variables ocultas (que preserve la localidad) es capaz de predecir los resultados de los experimentos de Aspect sobre correlación de pares de fotones!... El que esto no se haya producido -el desarrollo de una teoría de variables ocultas sobre la base de un modelo simple del mundo microscópico- es la razón por la cual muchos físicos hemos tenido que aceptar las ideas de Copenhague. No porque nos gustasen, sino porque es el único modo de describir de cerca el comportamiento del mundo físico. Como señaló Bohr, muchas veces es la misma Naturaleza y no nuestra naturaleza la que nos obliga a adoptar esta nueva y, en cierta medida, poco confortable manera de pensar.*

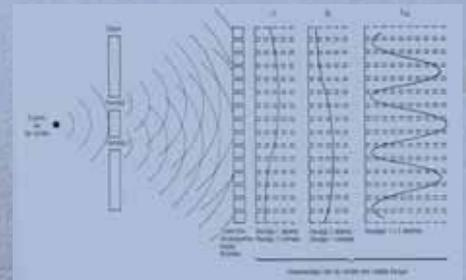
DE LA CUÁNTICA

LA NATURALEZA DE LA LUZ



Patrón I

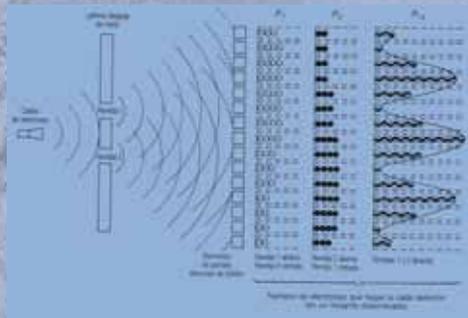
El denominado *experimento de las dos rendijas* sirvió para decidir, en su momento, cuál era la naturaleza de la luz. Fue, pues, lo que se conoce como un *experimento crucial*. De acuerdo con su diseño la luz poseería naturaleza corpuscular si el resultado de la experiencia respondía al patrón I y se trataría de una onda si el patrón resultaba ser el II. Sólo en este último caso se produciría un fenómeno de interferencias, exclusivo de las ondas, por el que un determinado punto, al que llega luz por cada una de las dos rendijas, puede quedar sumido



Patrón II

en la más completa oscuridad cuando ambas permanecen abiertas. La realización del experimento pareció zanjar la polémica: el patrón II confirmó la naturaleza ondulatoria de la luz. Esta confirmación quedaría consolidada a finales del siglo XIX, una vez establecida su naturaleza electromagnética. El descubrimiento del *efecto fotoeléctrico* reabriría, más tarde, la polémica.

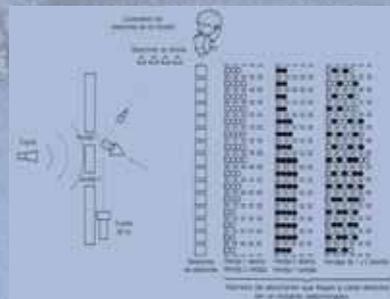
Si el foco luminoso se sustituía por un cañón de electrones el resultado, en contra de lo que era esperable desde la concepción clásica - que los consideraba partículas -, se asemejaba al de la luz. Lo extraño, sin embargo, era que los electrones, o los fotones de un haz de intensidad bajísima, llegaban a la pantalla siempre como corpúsculos completos - de modo similar a las balas de una ametralladora que actuara como foco de partículas - pero su distribución en ella presentaba un patrón de interferencias que sólo era explicable si cada objeto cuántico -fotón o electrón -, de algún modo, interfiriera consigo mismo y la apertura de una o de las dos rendijas modificara su comportamiento.



¿Pasa el electrón por ambas rendijas al modo de una onda? Si es así ¿cómo es que en la pantalla de recepción siempre detectamos la llegada de electrones completos?, ¿lo hace sólo por una u otra de las rendijas al modo de las partículas? ¿cómo es posible entonces que se produzca un patrón de interferencias que implica que la apertura o no de la segunda rendija influya sobre el comportamiento del electrón emitido?

¿No sería factible colocar un sistema de detección que nos permitiera observar por cual de las dos rendijas pasa el electrón?

La respuesta a esta pregunta es afirmativa y el resultado añade mayores dosis de misterio. La detección del paso de los electrones, por una u otra rendija, destruye el patrón de interferencias, de forma tal que si esta detección es sólo parcial, la fracción no detectada mantiene el patrón ondulatorio en tanto que la detectada se ajusta al patrón corpuscular.



¿Extraño? Ciertamente, pero, como afirmaba el físico americano Richard Feynman: *Así es como se comportan los objetos cuánticos y esto es cuanto podemos saber de ellos.*