

Reseña

Albert Einstein es sin duda el científico más célebre de nuestro siglo. Tras la mitología que envuelve su figura, se encuentra la historia de un hombre que fue el centro de los debates más importantes de su época y cuya trayectoria está indisolublemente unida a la aventura intelectual y científica de nuestro tiempo.

Banesh Hoffmann, físico especialista en el estudio de la relatividad, fue colaborador de Einstein en Princeton, es autor de numerosas obras científicas, entre las que destaca *La extraña historia de los Cuanta*.

En su biografía de Einstein, preparada con la colaboración de la secretaria del científico, Helen Dukas, muestra por igual el rigor del hombre de ciencia y el afecto del discípulo, de ahí que esta obra contenga no sólo el atractivo retrato del creador de la teoría de la relatividad, sino también una aproximación clara y comprensible a algunos de los problemas científicos más inquietantes.

Índice

Prólogo

1. El hombre y el niño
2. El niño y el joven
3. Preludio
4. Amanece una nueva luz
5. La agitación atómica
6. Tiempos mejores
7. De Berna a Berlín
8. De los Principia a Príncipe
9. De Príncipe a Princeton
10. La batalla y la bomba
11. Un marco más amplio
12. Todos los hombres son mortales

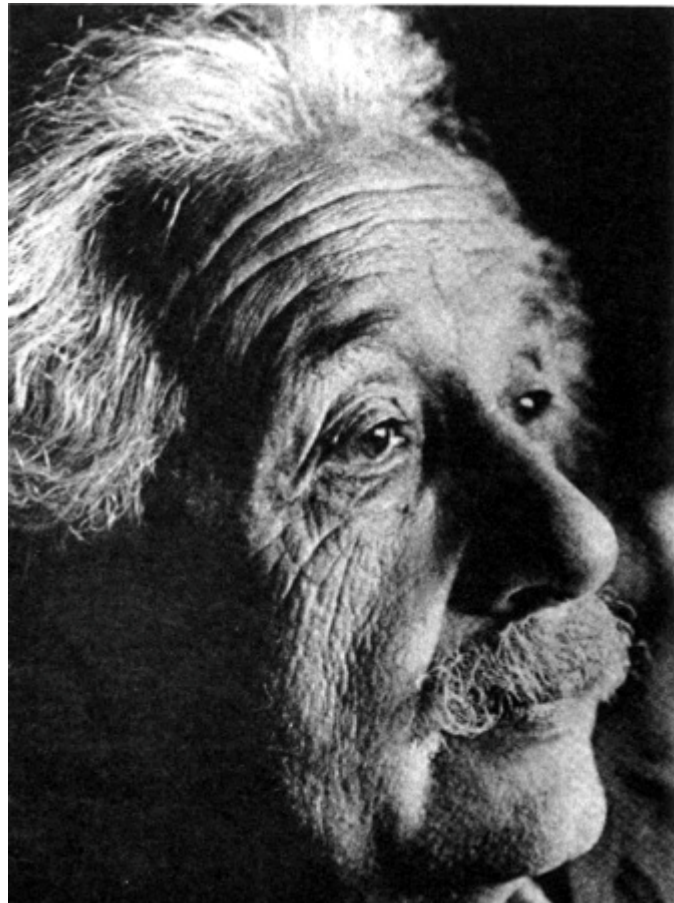
Agradecimientos

Cronología

Testimonios

Albert Einstein (1879-1955)

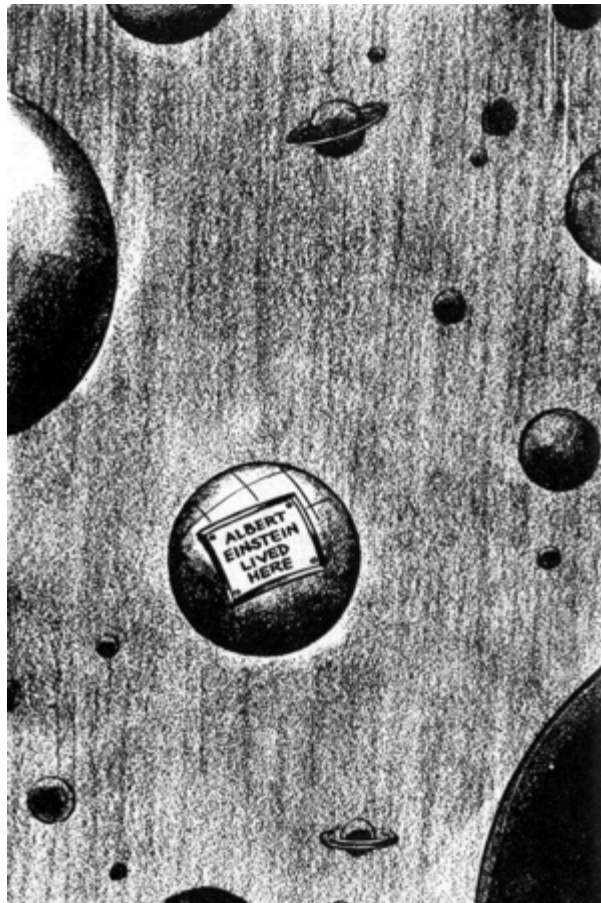
«En mi larga vida he aprendido una cosa: que toda nuestra ciencia, comparada con la realidad, es primitiva e infantil y que, a pesar de todo, es lo más valioso que tenemos.»



Albert Einstein, hacia 1946

El físico de origen alemán Albert Einstein nació en Ulm, Alemania, en 1879. Estudió en la Escuela Politécnica Federal de Zurich y obtuvo la ciudadanía suiza en 1901. Cuatro años más tarde se doctoró por la Universidad de Zurich, enseñó en diversos centros y publicó sus primeros trabajos sobre problemas fundamentales de

física, en uno de los cuales ya apuntaba los primeros atisbos de su teoría de la relatividad. En 1913 se trasladó a Berlín como profesor extraordinario de la Universidad y fue director del Instituto de Investigación Física *Kaiser Wilhelm*. Su primera exposición de la teoría general y restringida de la relatividad apareció en 1916; sin embargo, el premio Nobel de Física, que le fue concedido en 1921, resaltaba su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico. Ante los problemas que por su origen judío le ocasionó la subida de Hitler al poder, en 1933 se trasladó a Estados Unidos, adoptando la nacionalidad de este país en 1940.



«*Albert Einstein vivió aquí.*»

Fue designado profesor vitalicio del Instituto de Estudios Superiores de Princeton, donde ejerció un fecundo magisterio y dedicó gran parte de sus esfuerzos a la búsqueda de una teoría unitaria que pudiera reunir en un mismo esquema las leyes

de la gravitación y las del electromagnetismo. Tras la tragedia de Hiroshima, Einstein condenó la utilización bélica de la energía atómica y participó en numerosas campañas por la paz internacional. En 1952 rechazó cortésmente el ofrecimiento para ocupar la presidencia del Estado de Israel. Murió en Princeton en 1955.

Prólogo

Albert Einstein, El célebre desconocido

Por Mario Bunge

Si se le pide a una persona cualquiera de nuestro tiempo que nombre al científico que primero le venga a la mente, probablemente responderá: Einstein. Ningún otro científico de la historia, ni siquiera Arquímedes, Euclides, Galileo, Newton o Darwin, ha alcanzado la popularidad de que goza Einstein entre nuestros contemporáneos.

Es improbable que la popularidad de Einstein se deba a la difusión de sus teorías: al contrario, éstas sólo están al alcance de especialistas. E incluso éstos han debatido durante años el significado de muchas de las fórmulas debidas a Einstein. Se cuenta que, hacia 1920, alguien le aseguró al célebre astrofísico sir Arthur Eddington que sólo dos personas habían entendido la teoría general de la relatividad. Eddington, sorprendido y mosqueado, habría respondido: «¿Quién es el otro?»

¿A qué se debe la popularidad de Einstein? ¿Tal vez a que fue uno de los grandes revolucionarios de la ciencia? No cabe duda de que lo fue, pero tampoco cabe duda de que en nuestro siglo haya habido muchas otras revoluciones científicas, igualmente importantes, producidas por científicos muchísimo menos conocidos que Einstein. Baste recordar las teorías cuánticas, la física nuclear, la teoría sintética de la evolución, la biología molecular, la psicología fisiológica y la sociología matemática, por no mencionar revoluciones técnicas tales como la televisión, la informática y la exploración espacial. Es obvio entonces que el ser revolucionario en ciencia o en técnica no garantiza la fama.

Es posible que la celebridad de Einstein se deba a la conjunción de cinco características: obra científica, impacto desconcertante de la misma, opiniones desusadas sobre asuntos mundanos, atribución de la bomba atómica y personalidad. Analizaremos brevemente estos cinco rasgos.

La obra científica de Einstein fue notable por haber abarcado una multitud de problemas difíciles y profundos durante medio siglo. (El científico corriente trabaja

en un solo campo y produce su obra principal en el curso de un puñado de años, dedicando el resto de su vida a trabajos menores, a enseñar o a administrar.) Einstein contribuyó a probar la existencia de átomos y moléculas, de la que se había dudado hasta entonces. Postuló la existencia del fotón o quantum luminoso. Construyó la teoría especial de la relatividad, en particular la mecánica relativista. Edificó la relatividad general, o teoría del campo gravitatorio. Y fue uno de los fundadores de la física cuántica. Recibió el premio Nobel por uno de sus primeros trabajos (el referente al fotón), pero pudo haberlo recibido por cualquiera de otros tres o cuatro trabajos, o incluso por su brega por la paz mundial. En resumen, mereció media docena de premios Nobel.

El impacto de algunas de las contribuciones de Einstein fue desconcertante para la mayoría de la gente. Muchos científicos se negaron inicialmente a aceptar las ideas einsteinianas de que las distancias y duraciones, así como las masas y energías, no son absolutas sino relativas al sistema de referencia. Muchos legos extrajeron la conclusión equivocada de que Einstein había probado que todo es relativo e incluso subjetivo. La mayoría de los científicos cerraron los ojos a las objeciones que Einstein formulara a algunos aspectos de las teorías cuánticas. Otros reconocieron que, aunque estas teorías son exitosas, Einstein puso el dedo en algunas llagas. En todo caso, las ideas científicas de Einstein causaron una profunda impresión, unas por ser bien entendidas como revolucionarias, y otras por ser mal entendidas como conservadoras.

El tercer rasgo de la vida de Einstein que contribuye a explicar su popularidad es que, desde 1920 hasta su muerte, fue lo que hoy llamaríamos el *gura*, o sabio consejero, de la humanidad. Se le consultaba acerca de todo: psicoanálisis, parapsicología y religión; nazismo, socialismo y sionismo; guerra, paz y bomba atómica.

Einstein escribió tanto o más sobre problemas públicos que sobre ciencia. Al igual que al filósofo romano, nada humano le era ajeno.

Uno de los episodios más difundidos y peor comprendidos de la vida de Einstein fue su participación en la construcción de la primera bomba atómica. Hay quienes

creen que ésta fue diseñada con ayuda de las teorías de Einstein; otros piensan que éste fue quien persuadió al presidente Roosevelt de que ordenara la construcción de la bomba. Nada de esto es verdad. La famosa fórmula einsteiniana que relaciona la energía con la masa no fue sino una de las muchísimas fórmulas que aparecen en las teorías del núcleo atómico. La base científica de la tecnología nuclear es la física nuclear, no la teoría de la relatividad.

En cuanto a la participación de Einstein en la construcción de las primeras bombas nucleares, hoy sabemos tres cosas. Primero, Einstein no tomó la iniciativa: fueron otros, en particular Szilárd, quienes «torcieron su brazo» y le persuadieron de que firmara la famosa carta dirigida a Roosevelt. (Quien recuerde el avance fulmíneo del nazismo en 1940 comprenderá el temor que muchos sentían de que pudiera llegar a dominar al mundo entero, particularmente si lograba fabricar bombas nucleares.) Segundo, Roosevelt no respondió inmediatamente a dicha exhortación. Tardó un tiempo en hacerlo, y finalmente dio la orden, posiblemente, influido por los militares. Tercero, al enterarse de que el presidente Truman había ordenado usar la bomba contra Japón, quebrantando así el compromiso contraído por el gobierno con los físicos que participaron en su construcción, Einstein se arrepintió de haber firmado esa carta. Fue entonces cuando declaró que, si le fuese dado vivir por segunda vez, elegiría el oficio de fontanero.

Por último, está el factor personalidad. Einstein era eminentemente simpático e inspiraba tanto amor como respeto. Su correspondencia privada muestra que se dolía de la desgracia ajena e intentaba ayudar a colegas en aprietos políticos o económicos. Se adhería a cualquier causa humanitaria o democrática que recabase su firma. Pese a su fama y a tener plena conciencia de su valía, conservó la modestia (pero no la humildad) de quien busca y no siempre encuentra. Pese a todos los honores que recibió, respondía cartas de gente humilde, desdeñaba la ceremonia y vestía poco menos que como un *beatnik*. Aunque se ocupaba a menudo de asuntos mundanos, mantuvo siempre ese aire de sabio distraído, más selenita que terráqueo. Y nunca le faltó tiempo para reunirse con amigos y tocar el violín. Tuvo muchos amigos, con quienes sostuvo una correspondencia nutrida

sobre los asuntos más diversos. Y, como todo revolucionario, tuvo algunos adversarios científicos y filosóficos, pero todos le respetaron. Sus únicos enemigos fueron los nazis de todo pelaje, tanto en Europa como en los EE.UU.

(Entre paréntesis, he aquí una anécdota que muestra la modestia del sabio. En 1953 el autor de estas líneas se dirigió a Einstein por medio de un amigo común, el físico David Bohm, pidiéndole autorización para traducir su obra completa al castellano. La respuesta del sabio no tardó en llegar y ocupaba una sola línea: «Dígale al Dr. Bunge que no vale la pena, porque la mayor parte de mis escritos han sido superados». ¡Qué error y qué lástima!)

Einstein, el sabio más célebre de la historia, fue también el peor conocido. Murió ignorado por casi todos sus colegas. (Oppenheimer, un físico de segunda fila, le llamaba «el viejo tonto».) Al final de su vida pocos físicos creían en la importancia de sus ideas: sólo el público seguía respetándole y adorándole. A los físicos de aquel entonces les parecía que la teoría einsteiniana de la gravitación era marginal y que nada nuevo se podía esperar de ella. También creían que las críticas de Einstein a la física cuántica habían sido respondidas definitivamente por Bohr.

Estas evaluaciones cambiaron drásticamente a partir de 1960, cuando los físicos experimentales y los astrónomos empezaron a sacar pleno provecho de la teoría general de la relatividad. En pocos años los tres «efectos» clásicos que la habían confirmado inicialmente se convirtieron en una veintena. Los matemáticos, acuciados por estos éxitos, estudiaron con mayor ahínco las ecuaciones del campo gravitatorio, y en pocos años acumularon centenares de nuevas soluciones a las mismas. Y a partir de 1970, los físicos cuánticos redescubrieron algunas de las críticas de Einstein a la interpretación ortodoxa de la física cuántica. En particular, dedicaron mucha atención a la famosa paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen, que sigue causando insomnio a muchos de nosotros. En suma, Einstein ha vuelto a estar de moda. Casi todos reconocen hoy que muchos de los problemas que le ocuparon siguen abiertos. Echemos un vistazo a algunos de ellos.

¿Es verdad que, según la teoría de la relatividad, todo es relativo? No. Según esa teoría, que ha sido ampliamente confirmada en el laboratorio, algunas propiedades

son relativas al sistema de referencia, al par que otras son absolutas, o sea, independientes del sistema de referencia. Por ejemplo, la velocidad y la temperatura son relativas, pero la carga eléctrica y la entropía son absolutas. Las ecuaciones básicas del movimiento y de los campos son absolutas, o sea, valen relativamente para todos los sistemas de referencia de cierto tipo. En cambio sus soluciones (por ejemplo, las órbitas de los cuerpos y las trayectorias de las ondas luminosas) son relativas, porque lo son las posiciones, distancias, formas y duraciones. En resumen, la teoría de la relatividad relativiza algunas propiedades no todas. Y, por supuesto, se limita a propiedades físicas: nada dice, por ejemplo, acerca de la moral o de las costumbres.

Algunos filósofos creyeron que la relatividad implicaba un retorno al subjetivismo, o sea, a la doctrina según la cual todo es del color del cristal con que se mira. Este es un error y proviene de identificar sistema de referencia (cuerpo semi-rígido) con observador o experimentador. Todo observador puede servir como sistema de referencia, por cierto imperfecto. Pero la recíproca es falsa, ya que la enorme mayoría de los sistemas de referencia, tales como las estrellas y los sistemas estelares, están deshabitados. En todo caso, la física no se ocupa del acto psíquico de la percepción. La relatividad es tan objetiva como cualquier otra teoría científica.

Otro error común es el creer que, puesto que la elección de sistema de coordenadas (rectangulares, esféricas, cilíndricas, etc.) es convencional, las distancias son convencionales. La verdad es que las distancias no cambian con los sistemas de coordenadas (que son objetos conceptuales), sino con los sistemas de referencia (que son sistemas físicos). Si la distancia entre dos cuerpos es de un metro cuando se emplean coordenadas rectangulares, sigue siendo de un metro cuando se pasa a coordenadas cilíndricas. Pero esta distancia es de un metro en relación a cierto sistema de referencia. En relación a un referencial en movimiento respecto del primero, la distancia podrá ser de 10 cm o de 1 cm, según sea la velocidad.

Las duraciones son relativas, pero la dirección temporal de un proceso causal no lo es. Por ejemplo, ninguna manipulación de coordenadas espaciotemporales puede

invertir la relación temporal entre la emisión de un fotón y su absorción por un cuerpo: primero ocurre el primer hecho, y luego el segundo, y esto en cualquier sistema de referencia. Lo único que podrá cambiar es el tiempo que media entre los dos sucesos: respecto de un sistema de referencia podrá ser de un segundo, mientras que respecto de un sistema de referencia en movimiento respecto del primero podrá ser de LO o de 100 segundos.

Según la teoría especial de la relatividad, los valores de la energía E y de la masa m de un cuerpo están relacionados entre sí por la fórmula más célebre de la historia: $E = mc^2$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío. Muchos han creído que esta fórmula implica que todo lo que tiene energía también tiene masa: en particular, han creído que la luz posee masa puesto que tiene energía. Esto no es verdad: dicha fórmula pertenece a la mecánica relativista, no a las teorías de campos, tales como los luminosos. La luz carece de masa y por tanto también de peso.

Tal vez se pregunte: si la luz no tiene peso, ¿cómo es que los rayos luminosos se curvan al pasar cerca de un cuerpo masivo, como si cayeran sobre él? La respuesta es que se curvan porque siguen la línea más corta, que en un campo gravitatorio puede ser una curva (geodésica). Los campos gravitatorios curvan el espacio (y el tiempo). Esto no significa que la teoría einsteiniana de la gravitación haya reducido ésta a un fenómeno geométrico. Einstein no geometrizó la física, sino que asignó una interpretación física a ciertas fórmulas geométricas que aparecen en su teoría de la gravitación. La física teórica sigue siendo tan matemática y tan física como antes de Einstein: o sea, es un esqueleto matemático relleno de contenido físico.

El rasgo más notable de la relatividad general es, quizá, que no trata al espacio y al tiempo como un escenario fijo en el que se desenvuelven los agentes físicos. Al contrario, las distancias y duraciones, así como la forma (en particular la curvatura) del espacio y del tiempo dependen de la distribución de los cuerpos y de los campos. Y esto es así hasta el punto de que cabe suponer que, si no hubiese ni unos ni otros, tampoco habría espacio ni tiempo. En la relatividad general, la física no se geometriza, sino que la geometría se «fiscaliza».

La astronomía extragaláctica, o cosmología, es impensable hoy sin la teoría

einsteiniana de la gravitación. Todos los modelos de universo que emplean los cosmólogos son compatibles con dicha teoría. Pero al mismo tiempo, la novísima cosmología incluye también porciones de la física cuántica. Y la unión de ambas teorías es forzada, porque el campo gravitatorio sigue rebelde a las tentativas de *cuantizarlo*, o sea, tratarlo según los principios de la teoría cuántica. Quienes creen que las teorías cuánticas son básicamente verdaderas esperan que, tarde o temprano, la teoría general de la relatividad, que es de corte clásico, será superada por una teoría cuántica del campo gravitatorio. La teoría de Einstein seguirá valiendo para campos gravitatorios en gran escala. Quien viva verá.

La relación de Einstein con las teorías cuánticas es complicada. El fue el primero en comprender que la célebre fórmula de Planck implica que la energía radiante está *cuantizada*: que un campo lumínico es un sistema de fotones. Sin saberlo y sin quererlo, Planck y Einstein pusieron la piedra fundamental de la electrodinámica cuántica, edificio que no se construyó sino veinte años más tarde. Otra contribución importante de Einstein a la física cuántica fue su teoría del calor específico de los sólidos. En ésta, al igual que en sus contribuciones a la teoría del movimiento browniano, Einstein hizo uso del concepto de probabilidad objetiva como propiedad física independiente de nuestras expectativas. Su tercera contribución a la teoría cuántica fue su examen de diversas fórmulas y de varios experimentos ideales. Las discusiones que sobre estos temas sostuvo con Bohr, Born, Pauli y otros grandes son un modelo de penetración, claridad y honestidad. Aún hoy, dichas discusiones, recogidas en actas de congresos y en el archivo de Einstein, así como en libros, son motivo de nuevas discusiones entre los físicos.

Se cree a menudo que la principal objeción de Einstein a la física cuántica es que ésta es probabilista. Suele citarse su dicho de que Dios no juega a los dados con la naturaleza: se cree que Einstein abrazó consecuentemente un determinismo de tipo laplaciano. Esto no es verdad: Einstein parece haber fluctuado entre este determinismo y otro más amplio, que incluye la legalidad probabilista. Esta opinión se confirma por el hecho de que Einstein construyó teorías físicas en que la probabilidad figura como una propiedad objetiva en pie de igualdad con la masa o

la intensidad de campo.

El principal motivo de la discordia entre Einstein y los demás cofundadores de la física cuántica es que éstos, con la excepción de De Broglie y Schrödinger propiciaban una interpretación semisubjetiva de la teoría. En efecto. Bohr. Heisenberg. Pauli. Jordán. Von Neumann y otros sostenían que no hay tal cosa como sucesos atómicos o nucleares independientes de los experimentadores: que todo acontecimiento microfísico es producido por algún observador, que la medición crea el fenómeno. En su apoyo aducían que el experimentador, al variar el dispositivo experimental, puede hacer que los electrones y demás «partículas elementales» exhiban, ya propiedades corpusculares, ya propiedades ondulatorias. Einstein rechazaba esta interpretación semisubjetiva. Para él, el experimento no crea propiedades físicas, sino que las pone de manifiesto y las mide.

¿Quién tuvo razón. Einstein o Bohr? La respuesta a esta pregunta nos llevaría a una discusión técnica en la que no podemos entrar aquí. Nos limitaremos a afirmar las conclusiones. Primera, es verdad que en ciertos casos (no en todos) el experimentador produce el fenómeno y crea la propiedad: éste es el caso de la polarización de un haz luminoso o de partículas mediante un polarizador. Pero también es cierto que esto se logra por medios estrictamente físicos, no por acción directa de la mente sobre la materia. Segunda, también la naturaleza puede ejecutar trucos similares, como lo prueba el hecho de que las teorías cuánticas se usan en astrofísica, ciencia que estudia procesos que ocurren en las estrellas, donde no hay experimentadores.

Einstein creía que la teoría cuántica no era sino una primera aproximación a la verdad y que, eventualmente, sería reemplazada por otra. Creía que la nueva teoría tendría que contener exclusivamente «variables ocultas» de tipo clásico (sin dispersión), y que pudieran explicar las distribuciones de probabilidad en lugar de suponerlas. Creía que sólo así se lograría objetivizar completamente la física. Esta creencia inspiró un vigoroso movimiento de construcción de teorías de variables ocultas entre 1950 y 1980. Últimamente el programa de las variables ocultas entró en crisis: se comprobó experimentalmente que cualquier teoría que las contenga es

falsa. Al mismo tiempo se ha empezado a comprender que, para librar a la física cuántica del subjetivismo, no es preciso recurrir a variables ocultas. Basta ajustar la interpretación física al formalismo matemático. Al recortar la grasa idealista queda una carne estrictamente física, aunque básicamente probabilista.

Como es sabido. Einstein no se limitó a hacer incursiones filosóficas. Fue uno de los poquísimos intelectuales europeos que se opusieron a la I Guerra Mundial. Combatió al nazismo. Escribió en favor del socialismo democrático. Apoyó al sionismo y al Estado de Israel al mismo tiempo que criticó al nacionalismo y al racismo. Alentó a los científicos norteamericanos a resistir al macarthismo. Junto con Bohr y Russell, bregó por el desarme nuclear y por la formación de un gobierno mundial. Aunque jamás se hizo ilusiones, Einstein nunca perdió la confianza en el poder de la razón y en la posibilidad de construir una sociedad justa en la que todo aquel que lo desease pudiese especular sobre la unificación de los campos y hacer música.

Cuando se recuerda las múltiples contribuciones de Einstein al saber y a las causas justas de su tiempo, y cuando se contempla su cabeza decimonónica de soñador a la vez rebelde y pacífico, se comprende que se haya convertido en el símbolo del sabio moderno, o en lo que un norteamericano llamaría Mister Science. No es extraño que, cuando el gobierno chino decidió reconstruir el país después de la «revolución cultural», propusiera a Einstein como modelo para la juventud estudiosa. Lo hizo publicando una biografía del sabio y una colección de sus obras escogidas, en dos tomos, en tiradas de millones de ejemplares.

¿Qué tiene de sorprendente que, aunque casi todos desconozcamos las profundas teorías científicas de Einstein, y aunque es posible que nadie haya calado hondo en su compleja personalidad de soñador práctico, todos reconozcamos que buscó la verdad y el bien con más ingenio, independencia, ahínco y valentía que ningún otro ser humano de nuestro siglo?

Capítulo 1

El hombre y el niño

Este libro cuenta la historia de un hombre profundamente sencillo.

La esencia de la profundidad de Einstein estuvo en su sencillez; y la esencia de su ciencia radicó en su arte, en su magnífico sentido de la belleza. «Parecía una paradoja, pero el tiempo lo ha confirmado», como decía Hamlet en un contexto diferente.

Así pues, nos espera una paradoja que deberemos resolver. Pero todavía hay más. Al avanzar el relato, descubriremos que las palabras de Hamlet, tan alejadas de su contexto, adquieren un nuevo e inesperado valor. Efectivamente, Einstein dijo cosas sorprendentes sobre el tiempo.

Es conocido, sobre todo, por su teoría de la relatividad, que le dio fama mundial. Pero la fama fue acompañada de una especie de idolatría que para Einstein resultaba incomprensible. Con gran sorpresa por su parte, se convirtió en una leyenda viva, en un verdadero héroe popular, considerado como un oráculo, invitado por reyes, estadistas y otros personajes célebres, y tratado por el público y la prensa como si fuera una estrella de cine más que un científico. Cuando, en los días gloriosos de Hollywood, Chaplin llevó a Einstein al estreno de su película *Luces de ja ciudad*, la muchedumbre se amontonó junto a su coche, para ver tanto a Einstein como a Chaplin. Volviéndose desconcertado hacia su anfitrión, Einstein le preguntó: «¿Qué significa esto?», a lo que el experimentado Chaplin respondió amargamente: «Nada.»

Aunque la fama le ocasionó sus inevitables problemas, no consiguió afectarle: Einstein no conocía la vanidad. No demostró ninguna señal de ostentación ni de presunción exagerada. Los periodistas le importunaban con cosas triviales y sin importancia. Los pintores, escultores y fotógrafos, famosos o desconocidos, se le acercaban en masa para retratarle. Pero, a pesar de todo ello, conservó su sencillez y su sentido del humor. En una ocasión viajaba en tren y uno de los pasajeros, que no le había reconocido, le preguntó cuál era su profesión. Einstein respondió

tristemente: «Modelo.» Perseguido por los cazadores de autógrafos, comentaba con sus amigos que la caza de autógrafos era el último vestigio del canibalismo: los hombres comían antes a otros hombres, pero ahora se conformaban con algo simbólico. Tras ser agasajado en un acto social, confesó apenado: «Cuando era joven, lo único que quería y esperaba de la vida era poder sentarme tranquilamente en un rincón a trabajar, sin que nadie se fijara en mí. Y ved lo que me pasa ahora.»

Mucho antes de que el público hubiera oído su nombre, los físicos habían reconocido ya la importancia de Einstein. Su teoría de la relatividad consta de dos partes principales: la teoría restringida y la general. Sólo después de la I Guerra Mundial, cuando las observaciones de un eclipse permitieron confirmar una predicción de la teoría general de la relatividad, comenzó a llegar al público la noticia de que en el mundo de la ciencia había ocurrido algo muy importante.

Einstein vivió en una época en que la física atravesaba una crisis sin precedentes. La relatividad no fue la única innovación científica revolucionaria de comienzos del siglo XX. La revolución del *quantum*, que forma también parte de nuestro relato, se produjo más o menos simultáneamente y era todavía más radical que la relatividad. Sin embargo, no causó tanta impresión en el público y no dio origen a un héroe popular, como ocurrió con la última.

Surgió el mito de que en todo el mundo sólo había media docena de científicos capaces de entender la teoría general de la relatividad. Cuando Einstein propuso su teoría por primera vez, quizá no habría demasiada exageración en esta creencia. Pero ni siquiera después de que docenas de autores escribieran artículos y libros explicando dicha teoría, desapareció este mito. Ha permanecido durante mucho tiempo y todavía quedan algunos vestigios del mismo, a pesar de que, según un cálculo reciente, los artículos de cierta importancia sobre la teoría general de la relatividad publicados cada año suman entre setecientos y mil.

El mito y las observaciones de los eclipses rodearon la teoría de un aura de misterio y de serenidad cósmica que debió calar hondo en la imaginación de un mundo cansado de luchar y deseoso de olvidar la vergüenza y los horrores de la I Guerra Mundial. Sin embargo, incluso cuando se la examina desapasionadamente, la teoría

de la relatividad sigue siendo un logro increíble. En una carta escrita al cumplir cincuenta y un años, Einstein señalaba que veía en esta teoría la verdadera obra de su vida y que sus otros conceptos eran para él *Gelegenheitsarbeit*: trabajos realizados según se iba presentando la ocasión.

Pero los *Gelegenheitsarbeit* de un Einstein no son insignificancias. Max Born, que obtuvo el premio Nobel de física, lo expresó muy claramente cuando dijo que Einstein «sería uno de los mayores físicos teóricos de todas las épocas, aun cuando no hubiera escrito una sola línea sobre la relatividad». Es más, del texto oficial donde se justifica la concesión del premio Nobel al propio Einstein parece deducirse que se le concedió sobre todo por algunos de sus *Gelegenheitsarbeit*. Todo lo cual no se contradice, en absoluto, con la preeminencia de su teoría de la relatividad.

Cari Seelig, uno de los principales biógrafos de Einstein, le escribió una vez preguntándole si había heredado el talento científico de su padre y las dotes musicales de su madre. Einstein contestó con total sinceridad: «No tengo ningún talento especial, sólo soy un hombre apasionadamente curioso. Y esto no es cuestión de herencia.» Einstein no hablaba así por falsa modestia, sino por precaución. Estaba respondiendo lo mejor que podía a una pregunta mal formulada. Si suponemos que la pregunta hacía referencia al arte científico de Einstein, vemos en ella algo que Seelig no debió pensar. Implícitamente, la pregunta ponía la música de Einstein a la misma altura que su ciencia. Es cierto que a Einstein le entusiasmaba la música y que tocaba el violín mejor que muchos aficionados. Pero, ¿se le podía comparar en cuanto a la música con su compositor favorito, Mozart, de la misma manera que en el terreno científico era equiparable a Newton, por quien sentía veneración?

En lo científico, Einstein no tuvo nada de aficionado. Su talento era el de un verdadero profesional. Para el profano, las dotes de un profesional destacado en cualquier campo, desde la teología a la falsificación de billetes, son algo impresionante.

Pero el talento no es algo excepcional, y en un plano profesional, el talento

científico y la habilidad técnica de Einstein no eran espectaculares, sino que se vio superado por muchos profesionales que compitieron con él.

Ich habe mich entschlossen, Autogramme künftig solchen Personen zu geben, die zu einer bescheidenen Wohltätigkeitshandlung bereit sind.
 Sie erhalten sofort das gewünschte wenn Sie
 I. an die Adresse:.....

 per Postanweisung
 senden und
 II. mir die Postquittung zusenden.
 Albert Einstein
 Die Geldempfänger werden von mir sorgfältig ausgesucht.
 Es ist zweckmässig, auf der Postanweisung den Absender nicht anzugeben, um dessen Belästigung durch Bettelbriefe zu verhindern.

Durante una época, Einstein solía enviar esta tarjeta impresa a quienes le escribían, pidiéndole un autógrafo. Su texto empieza así: «He decidido no conceder autógrafos más que a las personas que estén dispuestas a hacer una pequeña aportación benéfica.» Y concluye: «Se recomienda no poner remite en el giro para evitar nuevas peticiones.»

En este sentido, Einstein no tuvo un talento científico especial. Lo que sí tenía de especial era el toque mágico sin el que la más apasionada de las curiosidades suele resultar totalmente ineficaz: poseía la auténtica magia que trasciende la lógica y distingue al genio de la masa de hombres de menos talla, aun cuando en realidad posean mayor talento.

Lo iremos viendo por nosotros mismos al avanzar en la narración. Einstein lo admitió implícitamente en su autobiografía, aunque con palabras más modestas. Después de todo, no podía decir tan tranquilamente: «Soy un genio.» Al explicar por qué se dedicó a la física en vez de a las matemáticas, decía lo siguiente: «El hecho de que descuidara en cierta manera las matemáticas tenía como explicación no sólo mi mayor interés por la ciencia que por las matemáticas, sino también esta

curiosa experiencia.



Pauline y Hermann, padres de Einstein.

Yo veía que las matemáticas estaban divididas en numerosas especialidades, cada una de la cuales podía absorber los pocos años de una vida humana. Por consiguiente, me veía en la posición del asno de Buridán, incapaz de decidirse por uno de los distintos manojos de heno. Esto se debía al hecho de que mi intuición no era demasiado fuerte en el campo de las matemáticas... Sin embargo, en física aprendí en seguida a seguir la pista a lo que podía llevarme hasta los principios básicos y a dejar de lado todo lo demás, el cúmulo de cosas que invaden la mente y la alejan de lo esencial.»

Esta poderosa intuición no se puede explicar racionalmente. No es algo que se pueda enseñar o reducir a una regla; de lo contrario, todos podríamos ser genios. Aflora espontáneamente desde el interior. Albert Einstein escribió su autobiografía a los sesenta y siete años de edad, y en ella recordaba un hecho decisivo ocurrido más de sesenta años antes. Era un relato que le gustaba contar. Al parecer, cuando tenía cuatro o cinco años tuvo una enfermedad que le obligó a guardar cama. Su padre le llevó una brújula magnética para que jugara. Muchos niños se han

divertido con este juguete. Pero el efecto que produjo al pequeño Albert fue tremendo. Y profético. En su autobiografía, el anciano Einstein recordaba con intensidad la admiración que le había invadido tantos años antes: veía una aguja, aislada e inalcanzable, totalmente cerrada, y sin embargo, dominada por un impulso invisible que la hacía dirigirse con decisión hacia el norte. No importa que la aguja magnética fuera algo tan vulgar, o tan maravilloso- como un péndulo que tiende hacia la tierra. El niño estaba ya familiarizado con los péndulos y con la caída de los objetos. Los consideraba algo natural. Por entonces no podía darse cuenta de que encerraban también un misterio, ni podía saber que más adelante él mismo contribuiría de forma decisiva a la comprensión de la gravedad. La aguja magnética fue para el pequeño Albert una revelación. Era algo que no encajaba. Contradecía su imagen de un mundo físico ordenado. En su autobiografía escribió: «Todavía recuerdo, o al menos creo recordar- que esta experiencia me produjo una impresión profunda y duradera.»

Estas palabras resultan interesantes por varias razones. Nos hablan del súbito despertar de la apasionada curiosidad que acompañaría a Einstein a lo largo de toda su vida, o quizá de la repentina cristalización de algo innato que llevaba ya cierto tiempo en proceso de formación. Sabiendo lo que haría luego, podemos deducir de estas palabras autobiográficas que Einstein encontró su vocación a una edad muy temprana. Y sin embargo, hay en sus palabras algo extraño que merece cierta atención. Repitémoslas: «Todavía recuerdo, o *al menos creo recordar-* que esta experiencia me produjo una impresión profunda y duradera.» ¿No hay en ellas cierta falta de lógica? Si la experiencia le produjo una impresión profunda y duradera, no debería tener eludido de que la recordaba. ¿Qué significa el inciso «o al menos creo recordar»?

¿Hemos sorprendido al gran Einstein en una contradicción? Superficialmente, sí. Pero, en un sentido más profundo, no. Había tenido que contar lo mismo muchas veces. Sabía que le fallaba la memoria. Sabía que cuando algo se repite muchas veces puede terminar deformándose, con la peculiaridad de que el primero en creérselo es el que lo cuenta. Creía que la brújula le había producido una impresión

inolvidable. Pero quizá el impacto no había sido tan grande como él había llegado a pensar. Con este procedimiento tan elemental transmitía una idea que, sin que él se diera cuenta, le preocupaba. Las palabras de advertencia no parecen premeditadas. Interrumpen el desarrollo lógico del relato. Aparecen de repente, como un desliz freudiano, y revelan el instintivo amor a la verdad que sentía Einstein. Y lo que es más, nos muestran a un Einstein que profundiza en la verdad a través de una paradoja.

¿Qué ocurre con su autobiografía? Ya la hemos citado en dos ocasiones. Debe de ser un auténtico filón. De hecho lo es, pero no en el sentido que cabría esperar. Einstein tenía ideas muy personales sobre las biografías. Un famoso poeta que estaba escribiendo una importante biografía sobre un destacado científico del siglo XIX se dirigió a Einstein en 1942 para pedirle que escribiera el prólogo. Su respuesta fue: «En mi opinión sólo hay una forma de conseguir que el público preste atención a un gran científico: discutir y explicar, en un lenguaje asequible para todos, los problemas y las soluciones que han caracterizado el trabajo de su vida. Esto sólo puede hacerlo alguien que comprenda el material que va a manejar... La vida externa y las relaciones personales sólo pueden tener, en líneas generales, una importancia secundaria. Por supuesto, en tal libro deberá tenerse en cuenta el aspecto personal; pero no debe convertirse en el apartado más importante, sobre todo cuando no exista ningún libro que se ocupe de la aportación fundamental del biografiado. De lo contrario, el resultado es una muestra trivial del culto al héroe, basado en la emoción y no en la lucidez mental. Mi propia experiencia me ha enseñado lo odioso y ridículo que resulta ver a un hombre serio y dedicado a asuntos importantes convertido en objeto de ignorantes agasajos. En cualquier caso, no puedo apoyar públicamente tal empresa. No me parecería honrado. Sé que esto resulta duro, y hasta me temo que usted pueda interpretar esa incapacidad mía como una grosería injustificable. Pero yo soy así, y no puedo ser de otra manera.»

Einstein sólo aprobó las biografías sobre él mismo de forma excepcional. Para la que escribió su yerno Rudolf Kayser, con el seudónimo de Antón Reiser, entre

otras cosas, decía: «Los datos del libro me han parecido exactos, y su descripción, en general, es todo lo buena que cabía esperar siendo obra de alguien que, por fuerza, es él mismo y no puede ser otro. Lo que quizá se haya pasado por alto es lo irracional, lo incoherente, lo extraño y hasta lo insensato que la naturaleza, trabajadora infatigable, suele implantar en un individuo, al parecer por pura diversión. Pero estas cosas sólo se pueden apreciar en el crisol de la propiamente.»

No hay duda de que debemos examinar más de cerca la autobiografía de Einstein. Por desgracia, al hablar de su autobiografía no hemos sido demasiado justos. Si sus palabras al poeta autor de la biografía del científico del siglo XIX parecen duras, veremos que no son nada en comparación con los criterios biográficos que se impuso a sí mismo en este caso. La empresa prosperó gracias a la tenacidad y dotes de persuasión de Paul Arthur Schilpp, profesor de filosofía. Schilpp había publicado una serie de libros sobre grandes filósofos vivos, hombres de la talla de Dewey, Santayana, Whitehead y Russell- y, comprendiendo que Einstein podía figurar entre los grandes filósofos, intentó incluirle en aquella serie. Cada libro estaba dedicado a un solo personaje. Constaba de una autobiografía, especialmente escrita para la ocasión, seguida de una serie de ensayos de hombres eminentes en los que se evaluaba y criticaba su obra. El propio filósofo respondía después a estos ensayos, contando así con una buena oportunidad para eliminar los malentendidos sobre su obra y clarificar lo que para los expertos había quedado oscuro.

A pesar de la capacidad de persuasión de Schilpp, Einstein se negó a escribir su autobiografía. En cambio, aceptó escribir su autobiografía científica. Con humor negro, decía que era su nota necrológica, y cuando la terminó le puso por título *Notas autobiográficas*¹ (*Autobiographisches*, según la versión original alemana) en vez de «Autobiografía». No comenzaba, como podría esperarse en una biografía convencional, con algo parecido a «Nací el 14 de marzo de 1879 en la ciudad de Ulm (Alemania).» De estos temas no hizo la menor mención. Tampoco decía cosas como «tenía una hermana más pequeña, que se llamaba Maja», o «tuve dos hijos de

¹ En *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. ed. Paul A. Schilpp. Library of Living Philosophers. Evanston. Illinois. 1949. Estas *Notas autobiográficas* de Einstein han sido publicadas en castellano por Alianza. Madrid. 1984.

mi primera mujer», o «mi madre se llamaba Pauline». Sí que contaba la sensación de admiración que le inundó cuando su padre le dejó la brújula magnética, pero parece lógico que los acontecimientos emocionales e intelectuales de esta naturaleza ocupen un lugar de honor en una autobiografía científica. No pertenecían a la misma categoría que el enamorarse o llorar la muerte de alguien.



Primera fotografía conocida de Albert Einstein. Al parecer, el pequeño Albert tuvo algunos problemas de aprendizaje en sus primeros años.

Estas dos últimas sensaciones eran asuntos personales, y después de estar muchos años en el candelero, Einstein valoraba su intimidad. Pero aun así, ¿no sería lógico que al hablar en su autobiografía científica sobre su padre, que le había enseñado la brújula, dijera al menos que se llamaba Hermann? Los únicos nombres que aparecen son de científicos y filósofos. No dice nada sobre sus cambios de

residencia, ni sobre los puestos que ocupó. Sólo hay una referencia fugaz a su condición de judío. No explica las repercusiones políticas del mundo sobre él o de él sobre el mundo. Casi nada más empezar la «nota necrológica», se lanza a una profunda discusión científica y filosófica y ya no sale de ahí más que de forma excepcional. Consciente de las deficiencias de su biografía, Einstein interrumpe de repente sus profundas discusiones para intercalar estas palabras: «¿Pero de verdad es esto una nota necrológica?, se preguntará, atónito, el lector. Me gustaría responder: esencialmente, sí. Lo esencial de un hombre como yo está precisamente en *lo que* piensa y en *cómo* piensa, no en lo que hace o padece. Por consiguiente, la nota puede limitarse en lo fundamental a comunicar los pensamientos que han ocupado un lugar importante en mis actividades.»

Tras decir esto, una vez descargada su conciencia, vuelve a ocuparse de nuevo de la naturaleza de las teorías físicas sin tomarse la menor pausa, ni siquiera el respiro que podría suponer iniciar un nuevo párrafo.

Sin embargo, las *Notas autobiográficas*, con sus fórmulas matemáticas y complicados conceptos, producen una enorme fascinación en el especialista, y también en el profano, si está dispuesto a pasar por alto algunos aspectos que pueden superar su formación. Hasta las omisiones de Einstein nos indican qué clase de hombre era. No tenía ninguna necesidad de indicar si tal o cual idea la desarrolló en Berna, en Zurich, en Berlín o en Princeton. Las *Notas* son autobiográficas, pero no geográficas. En general, no habla de los distintos lugares. Allá donde iba le acompañaban sus ideas y lo que menos importaba era el lugar al que se dirigía. No obstante, las *Notas* no se sitúan al margen de todo lugar. Hablan de una aventura singular, y de consecuencias mundiales- que se produjo en la torre de marfil de una mente.

El 24 de junio de 1881, cuando Einstein tenía dos años y tres meses de edad, su abuela materna, Jette Koch, escribió a unos parientes en estos términos: «El pequeño Albert es un niño encantador. Me pongo muy triste cuando pienso que voy a estar un tiempo sin verle.» Y una semana más tarde escribía: «Tenemos muy buenos recuerdos del pequeño Albert. Estuvo muy simpático, y recordamos muchas

veces sus divertidas ideas.»

El testimonio de los abuelos sobre los nietos es, sin duda, parcial. Pero estos textos no son interesantes por reflejar el impacto que Albert producía en su abuela, sino más bien porque son las primeras referencias que nos han llegado sobre su personalidad. Nos preguntamos cuáles serían las «divertidas ideas» de aquel niño de dos años que estaba llamado a superar las mayores esperanzas de la abuela más cariñosa. ¿Eran sólo ideas divertidas? ¿Había en ellas algún indicio del futuro? ¿O, por el contrario, llegaron a pensar los abuelos, como pensaron durante algún tiempo sus padres, que el querido Albert Einstein era un poco retrasado? Tenían razones para ello, y la idea debió resultarles angustiosa. Como recordaba Einstein en una carta escrita en 1954:

«Mis padres estaban preocupados porque me costó bastante comenzar a hablar, e incluso llegaron a consultar al médico sobre las causas de aquel retraso. No estoy seguro de la edad que tenía entonces, pero sé que ya había cumplido los tres años.»

Sin lugar a dudas, es muy tarde para empezar a hablar. Las ideas que tan divertidas resultaban a sus abuelos, difícilmente podían haberse manifestado de forma verbal. En su carta, Einstein seguía diciendo:

«Después, nunca fui lo que se dice un orador. Sin embargo, mi desarrollo posterior fue completamente normal, con la única peculiaridad de que solía repetir mis propias palabras en voz baja.»

En cualquier caso, considerando que el pequeño Albert se iba a convertir nada menos que en Einstein, sus comienzos fueron poco prometedores.

Capítulo 2

El niño y el joven

Ya no existe en Ulm la casa en la que nació Einstein. La II Guerra Mundial la redujo a escombros. En dicha ciudad se había dado a una calle el nombre de Einstein. Pero los nazis no podían soportar que un judío recibiera estos honores, sobre todo tratándose de alguien tan importante y que a lo largo de toda su vida había brillado como símbolo de todo lo que ellos querían destruir. El nuevo alcalde nazi de Ulm decidió, el mismo día de su toma de posesión, cambiar el nombre de Einsteinstrasse por el de Fichtestrasse, en honor del filósofo y orador nacionalista alemán del siglo XVIII. Sólo tras la derrota de los nazis se repuso el nombre de Einsteinstrasse.

En unas cartas escritas en 1946 Einstein decía:

«Me he enterado de la curiosa historia de los nombres de la calle y me ha hecho mucha gracia. No sé si desde entonces se ha producido algún otro cambio, y menos todavía cuándo será el próximo; pero sí sé cómo controlar mi curiosidad... Creo que sería más acorde con la mentalidad política alemana bautizarla con el nombre de "Windfahnenstrasse" (calle de la Veleta). Además, así se evitarían nuevos cambios.»

En realidad, Einstein pasó poco tiempo en Ulm. Un año después de su nacimiento, la familia se trasladó a una ciudad mucho mayor, donde su padre, Hermann, y el hermano de Hermann, tío Jakob, montaron juntos un negocio, una pequeña fábrica de material electrotécnico.

Por una cruel ironía, el lugar elegido fue Múnich, que con el tiempo se convertiría en la cuna del nazismo. Por su parte, los Einstein no manifestaban en su forma de vida demasiadas huellas de su origen judío.

Enviaron a Albert y a su hermana Maja, dos años menor que él, a una escuela elemental católica, en la que los dos niños aprendieron las tradiciones y dogmas de dicha confesión. No obstante, también recibieron educación judía.



Casa de Ulm, en la Bahnhofstrasse 20, donde nació Einstein. Un año después de su nacimiento, la familia se trasladó a Múnich.

El pequeño Albert demostró en seguida una intensa inclinación religiosa, en sus aspectos espirituales y rituales. Durante muchos años, por ejemplo, se negó a comer cerdo, y no le parecía bien que sus padres fueran poco escrupulosos en sus prácticas judías.

En una biografía tan breve quizá parezca innecesario hablar de la evolución religiosa de alguien que se hizo famoso en el campo de la ciencia. Pero la motivación científica de Einstein era en gran parte religiosa, aunque no en un sentido tradicional y ritualista.

Ya hemos visto cómo la aguja imantada de la brújula marcó el rumbo de aquel niño hechizado por su misterio. En su edad adulta nunca perdió aquella capacidad

infantil de asombro y admiración. «Lo más incomprensible de este mundo, decía- es que es comprensible.»



En este estado quedó la casa natal de Einstein después de los bombardeos de la II Guerra Mundial.

Al juzgar una teoría científica, propia o ajena, se preguntaba si, en el caso de que hubiera sido Dios, habría hecho así el universo. Es un criterio que puede parecer más próximo al misticismo que a lo considerado generalmente como ciencia, pero sin embargo revela la fe de Einstein en la sencillez y belleza últimas del mundo. Sólo un hombre con la profunda convicción religiosa y artística de que la belleza es una realidad que está esperando que la descubramos podría haber desarrollado teorías cuyo atributo más llamativo, por encima de sus éxitos espectaculares, es su belleza.

Los padres de Albert, Hermann y Pauline Einstein, formaban, según todas las informaciones de que disponemos, un matrimonio sin tacha. El, un hombre de negocios optimista, liberal y de buen carácter; ella, un ama de casa tranquila y amante del arte, aficionada a tocar el piano cuando se lo permitían sus deberes domésticos. En Múnich tuvieron como vecinos a la familia de Jakob Einstein.

Vivían cerca de la fábrica, en dos casas unidas por un amplio jardín. En aquellos años Albert trató mucho con su tío Jakob, que era el ingeniero de la sociedad.

El pequeño Albert tenía cierta inclinación a la soledad. Cuando el jardín se llenaba de niños que iban a jugar, él solía participar poco en sus actividades. En un documento escrito mucho más tarde, su hermana Maja recordaba que Albert prefería los juegos que exigían paciencia y perseverancia, como levantar complicadas estructuras con bloques y construir castillos de naipes de hasta catorce pisos. Desde niño, Albert manifestó una resistencia instintiva ante todo tipo de coacción. Se estremecía al ver u oír los desfiles militares. Mientras otros niños soñaban con el día en que también ellos podrían llevar uniformes militares, a él le repugnaba la simple idea de desfilar mecánicamente siguiendo el ritmo absurdo marcado por el sonido de un tambor.

En 1886, cuando sólo tenía siete años, su madre, Pauline, escribía a su madre: «Ayer, Albert trajo las notas del colegio. Sigue siendo el primero de su clase y las notas son excelentes.» Y un año más tarde su abuelo materno escribía: «Albert ha vuelto ya al colegio. Me encanta este niño, pues no te puedes imaginar lo bueno e inteligente que es.»

Estos comentarios podrían hacernos pensar que Albert había superado rápidamente su retraso inicial y se había convertido en un alumno brillante y feliz, que gozaba del cariño de sus familiares y maestros. Pero, más adelante, Einstein habló con amargura de su vida escolar. Lo que más le molestaba eran los rígidos y repetitivos métodos de formación predominantes en aquella época. Este rechazo se intensificó cuando, a los diez años de edad, abandonó la escuela elemental para ingresar en el Instituto Luitpold. En 1955 escribió:

«Como alumno no fui ni muy bueno ni muy malo. Mi punto más débil era mi mala memoria, sobre todo cuando había que memorizar palabras y textos.»

Su profesor de griego llegó a decirle: «Nunca llegarás a nada.» No podemos decir que fuera un alumno destacado. Pero son interesantes las siguientes palabras de Einstein:

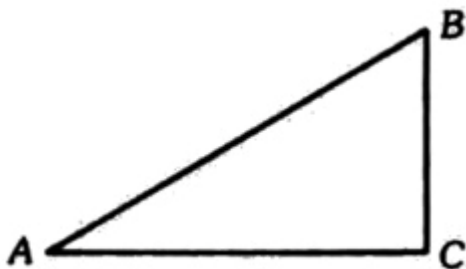
«Sólo en matemáticas y física, y gracias a mi esfuerzo personal, me adelanté con mucho al programa oficial de estudios. También podría decir lo mismo de la filosofía en lo que al plan de estudios se refiere.»

Por fin, podemos hacernos una imagen más clara de la evolución del pequeño Einstein. Las palabras claves son «esfuerzo personal», íntimamente relacionado con su apasionada curiosidad y su capacidad de asombro.

Su aprendizaje del violín nos da otra pista sobre su evolución. El propio Einstein dijo más tarde:

«Recibí clases de violín entre los seis y los catorce años, pero no tuve suerte con mis profesores. Para ellos la música se reducía a una práctica mecánica. Sólo comencé a aprender de verdad hacia los trece años, sobre todo después de enamorarme de las sonatas de Mozart. El deseo de reproducir, en cierta medida, su contenido artístico y su encanto singular me obligó a mejorar mi técnica. Lo conseguí gracias a dichas sonatas, sin necesidad de un adiestramiento sistemático. En general, creo que el amor es mejor maestro que el sentido del deber; en mi caso al menos, fue así.»

Einstein encontró una ayuda indudable en su tío Jakob. Al parecer, antes de que Albert estudiara geometría, tío Jakob le había hablado del teorema de Pitágoras: la



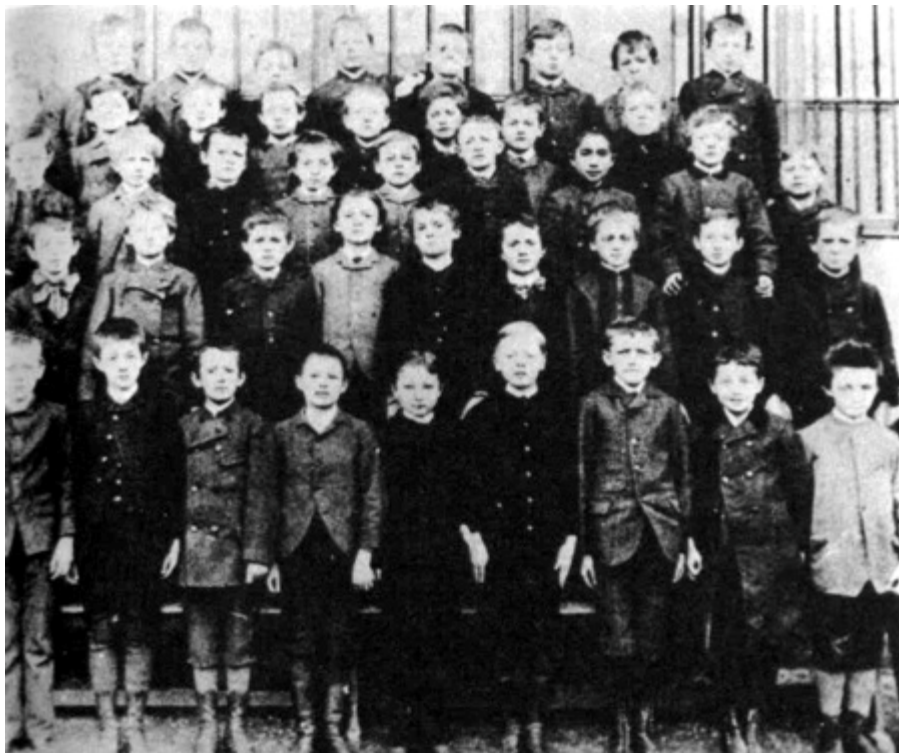
suma de los cuadrados de los catetos de un triángulo rectángulo es igual al cuadrado de la hipotenusa: o, en otras palabras, si en el triángulo ABC el ángulo C es un ángulo recto, entonces $AB^2 = AC^2 + BC^2$. Albert quedó fascinado. Tras ímprobos esfuerzos, encontró la

forma de demostrar el teorema, proeza extraordinaria, dadas las circunstancias, y que llenaría de satisfacción al niño y a su tío. Sin embargo, por extraño que parezca, esta satisfacción debió de ser insignificante comparada con la emoción que experimentó más tarde con un pequeño manual de geometría euclidiana, que le

absorbió por completo. Tenía entonces doce años, y el libro le produjo un impacto tan fuerte como el de la brújula magnética siete años antes. En sus *Notas autobiográficas* habla entusiasmado del «santo librito de geometría», y dice:

«Había afirmaciones, por ejemplo la de la intersección de las tres alturas de un triángulo en un punto, que, sin ser evidentes- podían demostrarse con tal certeza que parecía absurda la menor duda. Esta lucidez y certeza me produjeron una impresión indescriptible.»

A quienes sientan aversión instintiva hacia las matemáticas, esta pasión por la geometría tiene que resultarles increíble, algo parecido al amor del herpetólogo hacia las serpientes.



Fotografía escolar de Einstein y sus compañeros de clase, en 1889. Albert, que entonces contaba diez años, es el tercero por la derecha, en la primera fila.

Como Einstein eligió el camino fácil, pero honrado, de describir la impresión como

indescriptible, recurriremos a una descripción de Bertrand Russell, que tuvo una experiencia semejante y casi a la misma edad. «A los once años de edad comencé a estudiar a Euclides... Fue uno de los grandes acontecimientos de mi vida, tan deslumbrante como el primer amor. Nunca había imaginado que hubiera algo tan maravilloso en este mundo.» Y no olvidemos las palabras de la poetisa estadounidense Edna St. Vincent Millay: «Sólo Euclides ha contemplado la Belleza al desnudo.»

Siendo niño, Albert leyó libros de divulgación científica con lo que más tarde describiría como «atención embelesada». Estos libros no llegaron a sus manos de forma accidental.

Se los había proporcionado deliberadamente Max Talmey, perspicaz estudiante de medicina que durante algún tiempo acudió todas las semanas a casa de los Einstein. Talmey tuvo prolongadas discusiones con el pequeño Albert, orientándole y ampliando sus horizontes intelectuales en una edad crucial para su formación. Cuando el propio Albert llegó a dar clases de matemáticas superiores, Talmey orientó las conversaciones entre ambos hacia el campo de la filosofía, en el que todavía podía defenderse. Recordando aquellos días, Talmey escribió: «Le recomendé que leyera a Kant. Albert sólo tenía trece años, y sin embargo, las obras de Kant, incomprensibles para la mayoría de los mortales, le parecían muy claras.»

Un sorprendente resultado de los libros científicos sobre el impresionable Albert fue que de repente se volvió antirreligioso. No se le escapaba que la historia científica no coincidía con la bíblica. Hasta entonces, había encontrado en la religión el consuelo de la certeza. Entonces comprendió que tenía que renunciar a ella, al menos en parte, y esto le produjo un intenso conflicto emocional.

Durante cierto tiempo no sólo dejó de ser creyente, sino que se convirtió en un escéptico lleno de fanatismo, profundamente receloso ante toda autoridad. Unos cuarenta años después, llegó a decir con ironía: «Para castigarme por mi desprecio de la autoridad, el destino me convirtió a mí mismo en una autoridad.»

Su desconfianza inicial hacia la autoridad, que nunca le abandonó por completo, resultaría de gran importancia. Sin ella, no habría adquirido la enorme

independencia de espíritu que le dio el valor necesario para poner en tela de juicio las opiniones científicas tradicionales y, de esa manera, revolucionar la física.

76 IV. Kapitel. Die Schnitte der Cylinder- und Kegelfläche u. s. w.

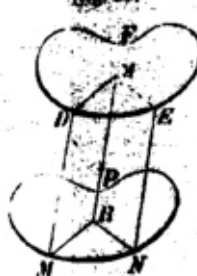
liegt. Man ziehe deshalb durch die Punkte A und B zwei Seitenlinien AC und BD bis zur Curve MNO , längs welcher die beschreibende Linie der Cylinderfläche sich fortbewegt hat, und verbinde die Punkte C und D . Daraus, daß die gerade Linie oder Sehne CD keinen Punkt mit dem Bogen CND gemein hat und $AC \parallel BD$ ist, läßt sich, mit Hilfe zu ziehender Parallelen, nachweisen, daß auch die Gerade AB keinen Punkt mit der Cylinderfläche gemein hat.

3. Satz. Die Cylinderfläche ist eine Fläche, die sich zur Ebene ausbreiten oder entrollen läßt (surface développable).

Daß man sich durch jede von mehreren Seitenlinien der Cylinderfläche a) eine Ebene gelegt, welche diese und die folgende Seitenlinie in sich enthält, b) zwei Ebene, welche die Fläche berührt, so entstehen zwei prismatische Räume, von welchen der eine der Cylinderfläche eingeschrieben, der andere ihr umgeschrieben ist. Die Seitenfläche eines jeden dieser prismatischen Räume läßt sich in eine Ebene ausbreiten, indem man sich vorstellen kann, jede der Ebenen, woraus sie besteht, drehe sich um eine der sie begrenzenden Kanten so lange, bis sie in die Erweiterung der benachbarten Ebene fällt und dann mit dieser nur eine Ebene ausmacht. Da nun die Cylinderfläche zwischen den Seitenflächen der prismatischen Räume liegt und die Grenze bildet, welcher jene Seitenflächen sich durch Vermehrung der Anzahl von Ebenen, aus denen sie bestehen, beliebig nähern können, so wird dasselbe von der Cylinderfläche gelten.

4. Satz. Die Durchschnitte der Cylinderfläche mit zweien unter sich parallelen Ebenen sind jederzeit congruente Figuren. (Fig. 89.)

Beweis. Die Durchschnittsfiguren seien DEF und MNP , AB aber irgend eine den Seitenlinien parallele Gerade, welche die Ebenen jener in A und B trifft. Zieht man nun in einer dieser Ebenen z. B. in DEF von A aus zwei beliebige Gerade AD und AE bis zum Umfang der Figur und legt durch jede derselben und durch AB eine Ebene, deren Durchschnitte mit der andern Figur und der Cylinderfläche für die eine BM und DM , für die andere BN und EN seien, so ergibt sich gleich, daß $ADMB$ und $AENB$ Parallelogramme sind, daß also $AD = BM$, $AE = BN$ sei. Auch



Handwritten note on the left margin:
 Diese Bemerkung ist dem Herrn Einstein, dem ich sie jetzt mitteilen möchte, zu danken, durch die ich mich von dem Irrthum befreit habe, daß man die Seitenflächen eines Prismas in eine Ebene ausbreiten kann!

Una página del «sagrado libro de geometría» en la que aparece una anotación de Albert sobre el teorema 3: «Esta demostración no tiene sentido, pues si podemos suponer que los espacios del prisma se pueden convertir en una superficie lisa, habría que decir lo mismo del cilindro.»

Al perder momentáneamente la fe religiosa, buscó ardientemente otra fuente de certeza, un cimiento firme sobre el que levantar la vida interior y el universo externo. Fue en este momento cuando llegó a sus manos el librito de geometría, y es muy significativo que medio siglo después le aplicara el adjetivo de «santo».



Maja y Albert Einstein, cuando contaban aproximadamente doce y catorce años de edad.

Tras unos años de prosperidad, la fábrica de Hermann y Jakob Einstein en Múnich tuvo graves dificultades. En 1894 la abandonaron y ambas familias se trasladaron a Italia a probar fortuna con una fábrica situada en Pavía, cerca de Milán. Sin embargo, decidieron que Albert se quedara como interno en el Instituto hasta que terminara el curso.

De repente, a sus quince años, Albert se encontró solo. El Instituto no le proporcionaba demasiadas alegrías. No en vano sus anteriores compañeros de estudios le habían puesto el mote sarcástico de «*Biedermeier*», que significa algo parecido a «el bonachón». A pesar de su evidente sencillez, no pudo disimular la aversión que sentía hacia los profesores del Instituto y hacia sus métodos draconianos. Naturalmente, esto no sentó muy bien al profesorado. Tampoco le ayudó demasiado el hecho de formularles preguntas que no podían responder. En una carta escrita en 1940, Einstein describió la situación como sigue: «Cuando estaba en séptimo curso en el Instituto Luitpold [tenía por tanto unos quince años] me llamó el profesor encargado de mi clase [se trata del mismo profesor de griego que había profetizado que Einstein no llegaría nunca a nada] y me expresó su deseo de que abandonara el centro. Al responderle que no había hecho nada malo, se limitó a comentar: "Tu mera presencia hace que la clase no me respete."

«Por mi parte, estaba deseando marcharme de aquel colegio e irme con mis padres a Italia, debido principalmente a sus métodos aburridos y mecánicos de enseñanza. Mi mala retentiva para las palabras me causó grandes dificultades, pero me parecía absurdo luchar por evitarlo. Preferí soportar todos los castigos antes que aprender maquinalmente y de memoria.»

A pesar del mutuo deseo de separación, las normas y la prudencia aconsejaban que Albert resistiera hasta los exámenes finales y obtuviera su diploma. Pero hay cosas más imperiosas que las normas y la prudencia. Italia era una tentación. En sus cartas, la familia de Albert se la había pintado de color de rosa. Con sus quince años, marginado y solo, Albert decidió abandonar el Instituto. Esta decisión desesperada es toda una demostración del profundo malestar que experimentaba en Múnich. Hay otros signos que lo confirman. Antes de la marcha de sus padres, había decidido cambiar de nacionalidad. Era algo que no podía hacer por su propia cuenta. La ley no se lo permitía: era menor de edad. Sin embargo, su decisión era firme y los motivos profundos. Como escribió en 1933,

«la desmesurada mentalidad militar del Estado alemán no iba conmigo, a pesar de que todavía era un muchacho. Cuando mi padre se trasladó a

Italia, dio algunos pasos, a petición mía, para que pudiera renunciar a mi nacionalidad alemana, pues quería hacerme ciudadano suizo».

La salida del Instituto implicaba algunos riesgos y Albert tomó todas las precauciones posibles para evitarlos. Consiguió obtener del médico de su familia un certificado según el cual, por razones de salud, era necesario que Albert fuese a Italia a descansar y recuperarse con su familia. Asimismo, consiguió que su profesor de matemáticas escribiera una carta afirmando que la capacidad y los conocimientos matemáticos de su alumno eran ya los de un universitario.



Albert Einstein a los catorce años.

Provisto de estos dos documentos, Albert pensó que no tenía por qué preocuparse más. En el futuro las cosas irían mejor. De eso estaba convencido. Después de todo, podía estudiar por su cuenta y prepararse para entrar en la universidad. Aunque los certificados le creaban ciertos problemas de conciencia, le salvaron de ser

considerado como un haragán. Albert abandonó su triste existencia en Múnich y se reunió con su familia en Milán. El periodo siguiente fue uno de los más felices de su vida. No dejó que ninguna obligación escolar o estatal estropeará su libertad recién estrenada. Para bien o para mal, vagabundó de un sitio para otro, mental y corporalmente, dejando de lado toda preocupación; se convirtió en un espíritu independiente, desposado con la libertad, y se dedicó a estudiar sólo las materias que le gustaban. Con su amigo Otto Neustätter, atravesó los Apeninos hasta llegar a Génova, donde tenía familiares. Museos, tesoros de arte, iglesias, conciertos, libros y más libros, familiares, amigos, el cálido sol de Italia, la gente libre y cariñosa: todo aquello convirtió la experiencia en una aventura embriagadora de huida y de maravilloso autodescubrimiento.



Einstein (sentado el primero a la izquierda) con su promoción de la Escuela Cantonal de Aarau, en 1896.

Pero el idilio no duró mucho. Las obligaciones materiales, abandonadas durante tanto tiempo, reclamaban ahora su atención. El negocio de Hermann Einstein había comenzado a tener problemas, y Hermann recomendó a su hijo que pensara en el futuro.

En Zurich, dentro de la zona suiza de habla alemana, estaba el famoso Instituto Federal de Tecnología, conocido familiarmente con el nombre de Politécnico o Poli. En 1895, tras su año glorioso de huida pasajera de la escuela, Albert se presentó en el citado Instituto para hacer los exámenes de ingreso en el Departamento de Ingeniería.

No aprobó.

Fue un golpe muy doloroso, aunque casi se lo esperaba. Además, sólo tenía dieciséis años y medio, y la edad de ingreso eran los dieciocho. Afortunadamente, este fracaso no fue una catástrofe. La causa de sus males habían sido las asignaturas repetitivas, como las lenguas y la botánica. En cuanto a asignaturas como las matemáticas y la física, las acciones son más elocuentes que las palabras: el profesor Heinrich Weber hizo algo sorprendente. Se tomó la molestia de comunicar a Albert que, si se quedaba en Zurich, podía asistir a sus clases de física. Era un gesto alentador, si bien no podía resolver el problema de Albert. Y hubo todavía más. Albin Herzog, director del Politécnico de Zurich, le insistió para que no se desanimara y tratase de conseguir un diploma en la Escuela Cantonal Suiza de Aargau, en la ciudad de Aarau.

En Aarau, con gran sorpresa y entusiasmo de Albert, la atmósfera era muy distinta de la del Instituto de Múnich. Se respiraba en todas partes un reconfortante espíritu de libertad. Albert tuvo la suerte de poder alojarse en la casa de uno de los profesores, Jost Winteler, y los Winteler le trataron casi como si fuera de la familia. Su estrecha relación con los Winteler se fortalecería todavía más, pues uno de los hijos de la familia se casaría con Maja, hermana de Albert, y una de las hijas lo haría con Michele Besso, de quien hablaremos más adelante. Einstein recordaba a «papá Winteler» con gran cariño.

A los dieciséis años de edad, Albert había conseguido aprender cálculo por su cuenta, y su intuición científica era extraordinaria. Como prueba de esto último, podemos citar este fragmento tomado de una carta de felicitación a Einstein al cumplir los cincuenta años. La escribía Otto Neustätter, su compañero de excursión en el año memorable y despreocupado de Italia. En ella se habla de un incidente en

el que intervino el tío Jakob cuando Albert sólo tenía quince años: «Tu tío... me había dicho que le costaba mucho realizar unos cálculos que necesitaba para la construcción de una máquina. Unos días más tarde... dijo: "¿Sabes que mi sobrino es maravilloso? Mi ayudante y yo llevábamos varios días devanándonos los sesos, y el chaval lo liquidó en poco más de quince minutos. Este va a dar que hablar".»

Esta precocidad es impresionante, pero no demasiado excepcional. Los niños de mente despierta resuelven muchas veces problemas que suelen desconcertar a personas de mucha más edad. En nuestro caso hay algo más que señalar. A los dieciséis años de edad, estando en Aarau, Albert se preguntaba qué impresión produciría una onda luminosa a alguien que avanzara a su misma velocidad.

Comparado con el otro incidente, éste parece insignificante. Más que una solución, parece simplemente una pregunta sin responder. Pero esta pregunta, que Albert se formuló a los dieciséis años, le obsesionó durante mucho tiempo. Revela, de forma sorprendente, su capacidad para llegar al meollo de un problema. Efectivamente, en esta pregunta está contenido el germen de la teoría de la relatividad, y en aquella época no había en el mundo nadie que pudiera dar una respuesta satisfactoria. Einstein encontró una, pero tardó diez años en lograrlo.

Mientras tanto, tras un año inesperadamente agradable en Aarau, Einstein obtuvo su diploma. Superado el problema de edad, podía solicitar el ingreso en el Politécnico de Zurich. Fue admitido en el otoño de 1896, aunque ya no tenía intención de hacerse ingeniero. Con el ejemplo de Jost Winteler a la vista, Einstein pensaba que la enseñanza podía ser una forma mejor de ganarse la vida. Con esa intención, se matriculó en unos cursos destinados a la formación de profesores especializados en matemáticas y ciencias. Sus tíos de Génova le resolvieron los problemas económicos inmediatos al concederle una ayuda de cien francos al mes. Por fin, parecía que su carrera iba por buen camino.

Pero cuando se saborea una vez la libertad, es difícil olvidarla. Y aquel joven al que sus compañeros de clase llamaban «*Biedermeier*» no era de los que en seguida se vuelven dóciles.

En el Politécnico de Zurich, a Einstein le costaba mucho ponerse a estudiar algo

que no le interesaba.



Instituto Politécnico de Zurich, en el que Einstein fue admitido en el otoño de 1896.

La mayor parte del tiempo la pasaba solo, explorando alegremente el mundo maravilloso de la ciencia, realizando experimentos y estudiando las obras de los grandes científicos y filósofos. Algunas de estas obras las leía con su compañera de origen serbio, Mileva Maric, con la que más tarde se casó.

Las clases le parecían un estorbo. Acudía a ellas sólo esporádicamente y, en general, con poco entusiasmo. Y aunque ahora sabía que lo que le interesaba de verdad era la física y no las matemáticas, tampoco encontraba aliciente en las clases de física. Por desgracia, en los cuatro años que duraba la carrera había que realizar dos exámenes principales. Nuevamente estuvo a punto de producirse un desastre, pero consiguió salvarse otra vez por los pelos. Su compañero Marcel Grossmann, matemático brillante, se había percatado desde el primer momento del talento de Einstein. Se hicieron amigos. Grossmann era un hombre meticuloso. Asistía a todas las clases y, además, tomaba unos apuntes modélicos por su detalle y claridad y permitió encantado que Einstein los estudiara. Gracias a esto Einstein pudo aprobar los exámenes. Obtuvo el título en 1900.

Los apuntes de Grossmann ofrecían a Einstein la libertad de seguir estudiando por su cuenta. Entre las materias que llegó a dominar estaba lo que se conoce con el nombre de teoría del electromagnetismo de Maxwell, importante teoría que, para decepción de Einstein, no se había mencionado en las clases de Heinrich Weber. Conviene no olvidar el nombre de Maxwell. Tendremos que volver sobre él.

En Zurich, Einstein vivió frugalmente. Y no porque el dinero con que contaba fuera

insuficiente. Desde el principio había ido reservando una quinta parte de lo que recibía. Su intención era ahorrar lo suficiente para poder pagar los gastos necesarios para adquirir la ciudadanía suiza.



Einstein en el Politécnico.

Con ayuda de su padre, la solicitó en octubre de 1899. El complicado mecanismo administrativo era muy lento. Finalmente, en febrero de 1901 pasó a ser ciudadano de la ciudad de Zurich y, por tanto, del cantón del mismo nombre y en consecuencia de Suiza. A lo largo de todas las vicisitudes de su vida, conservó siempre esta nacionalidad, aunque más tarde adquiriría también la ciudadanía estadounidense.

Los cuatro años en el Politécnico no habían sido del todo agradables. Como él mismo decía en sus *Notas autobiográficas*:

«Había que meterse en la cabeza todo lo que indicaba el programa, tanto si te gustaba como si no. Esta imposición me resultaba tan desagradable que,

cuando aprobé el examen final, durante todo un año experimenté cierta aversión a estudiar cualquier problema científico.»

Tras la obtención del título, Einstein vivió una mala racha. Parecía que nada le salía bien. Su idolatrada ciencia había perdido todo atractivo. Su franqueza y su desconfianza frente a la autoridad le habían granjeado la antipatía de los profesores, incluida la de Heinrich Weber, que debió de manifestar gran aversión hacia él. Era el mismo Heinrich Weber que, cinco años antes, se había tomado la molestia de animar al joven Albert cuando no consiguió aprobar los exámenes de ingreso. Su relación se había ido deteriorando. En una ocasión, Weber llegó a decir a Einstein, con indignación probablemente justificada: «¡Eres inteligente, muchacho! Pero tienes un fallo. Que no dejas que nadie te diga nada, absolutamente nada.»

Al finalizar sus estudios, Einstein se había quedado sin la ayuda que recibía todos los meses, y tuvo que buscar trabajo desesperadamente. Todavía no tenía veintiún años. Cuando intentó lograr algún puesto en la universidad, le rechazaron. En 1901 escribió lo siguiente:

«Por lo que me dicen, no gozo del favor de mis antiguos profesores», y «hace tiempo que podría haber conseguido un puesto como auxiliar en la universidad de no haber sido por las intrigas de Weber».

Einstein consiguió sobrevivir gracias a que fue encontrando diversos trabajos esporádicos, tales como realizar cálculos, enseñar en una escuela o dar clases particulares. Pero, incluso en estas actividades, su independencia e ingenuidad le ocasionaron problemas.

No obstante, volvió a recuperar, poco a poco, su amor a la ciencia y, mientras trabajaba como profesor particular en Zurich, escribió un artículo sobre la capilaridad que se publicó en 1901 en la importante revista científica *Annalen der Physik*. Más tarde, Einstein declaró que aquel artículo «no valía nada», pero para entonces su nivel de exigencia ya era muy superior al normal.

De hecho, el joven Einstein había puesto muchas ilusiones en ese artículo. En

Alemania, sobre todo en aquellos días, un catedrático era una «personalidad eminente», casi inasequible para los hombres de menor categoría. Y los catedráticos, conscientes de su prestigio y poder, solían ser autócratas. Einstein, un don nadie que intentaba llegar a algo, tuvo que echar mano del valor que da la desesperación para escribir la siguiente carta al gran físico-químico de la Universidad de Leipzig, Wilhelm Ostwald, quien más adelante conseguiría el premio Nobel:

«Fue su libro de química general el que me movió a escribir el artículo adjunto [sobre la capilaridad], por lo que me tomo la libertad de enviarle una copia. Aprovecho la ocasión para preguntarle si no podría emplear a un físico matemático, familiarizado con las mediciones absolutas. Me tomo la libertad de hacer esta petición porque carezco de ingresos y sólo con un puesto así tendría posibilidades de proseguir mis estudios.»

La carta salió el 19 de marzo de 1901. Pasaron los días y el cartero no traía respuesta alguna. Las esperanzas de Einstein comenzaron a flaquear. El 3 de abril envió una postal explicando la importancia que aquella decisión tenía para él y, posiblemente como pretexto para justificar el envío de la postal- diciendo que quizá hubiera puesto en la carta la dirección de Milán, como así había ocurrido.

Tampoco hubo respuesta. El 17 de abril Einstein decidió probar fortuna en otra parte y escribió una breve nota al profesor Heike Kamerlingh- Onnes, de Leiden, Holanda, incluyendo también una copia de su trabajo sobre la capilaridad. Por entonces éste era su principal capital tangible. Tampoco hubo respuesta. Mientras tanto, sin que Einstein supiera nada, había ocurrido en su vida algo muy hermoso. Es un episodio que revela el amor de su padre hacia él, así como las aspiraciones y angustias de Albert Einstein durante aquella época. El 13 de abril de 1901, Hermann Einstein, el comerciante fracasado, a pesar de su mala salud y de ser un desconocido en los medios académicos, decidió escribir personalmente al profesor Ostwald. He aquí su carta:

«Le ruego sepa perdonar a un padre que se atreve a dirigirse a usted, querido profesor, pensando en el bien de su hijo.

Antes de nada, quiero indicarle que mi hijo Albert Einstein tiene veintidós años de edad, ha estudiado cuatro cursos en el Politécnico de Zurich y obtuvo brillantemente, el verano pasado, su diploma de matemáticas y física. Desde entonces ha buscado, sin ningún resultado, un puesto de profesor auxiliar que le permita proseguir sus estudios de física teórica y experimental. Todos los que le conocen alaban su talento, y, en cualquier caso, puedo asegurarle que es muy trabajador y siente gran amor por su ciencia.

Mi hijo está muy preocupado por su actual situación de desempleo. Cada día se va convenciendo más de que ha fracasado en su carrera y de que no le va a ser posible recuperarse; le deprime mucho la idea de que es una carga para nosotros, pues somos una familia sin demasiados medios.

Querido profesor, dado que mi hijo le respeta más que a ninguno de los grandes físicos de nuestro tiempo, me permito dirigirme a usted para rogarle que le escriba unas líneas de aliento, para que así recupere la alegría de vivir y el deseo de trabajar.

Además, si pudiera ofrecerle un puesto como auxiliar, ahora o en el otoño, mi agradecimiento no tendría límites.

Le ruego una vez más me perdone el atrevimiento de enviarle esta carta. Sólo quiero añadir que mi hijo no tiene la menor sospecha de que me haya atrevido a dar este paso.»

No sabemos si, como consecuencia de esta carta, Ostwald escribió a Albert Einstein. Lo que sí sabemos es que Einstein no consiguió su puesto de profesor auxiliar, lo cual tendría cierta ironía, tal como fueron después las cosas.

En los momentos negros de 1901, Einstein podía encontrar cierto consuelo y evasión en la música. Y, lo que es más importante, volvieron a acudir en tropel a su

mente interesantes especulaciones e ideas científicas. Pero, aunque su mente se elevaba hacia las alturas, se sentía hundido e impotente en el cenagal de un mundo donde no había lugar para él. Sin embargo, la salvación estaba ya en camino. Llegó en el momento oportuno, y una vez más de su amigo Marcel Grossmann, cuyos impecables apuntes le habían salvado en el Politécnico. Grossmann no podía ofrecer a Einstein un puesto de profesor auxiliar, pues ése era precisamente el puesto que él tenía. Pero a comienzos de 1901 había hablado muy en serio con su padre sobre los problemas de Einstein, y el padre había recomendado encarecidamente a Einstein ante su amigo Friedrich Haller, director de la oficina suiza de patentes, en Berna.

Haller citó a Einstein para una entrevista, que le permitió ver en seguida la falta de preparación técnica de Einstein. Pero, en las dos horas de aquel interrogatorio agotador, Haller comenzó a darse cuenta de que en aquel joven había algo que estaba por encima de los detalles técnicos. Hay fuertes razones para pensar que fue su sorprendente dominio de la teoría electromagnética de Maxwell lo que, en último término, impulsó a Haller a ofrecer a Einstein un puesto provisional en la oficina de patentes. Como no había ninguna vacante inmediata, y dado que la ley exigía que los puestos se cubrieran mediante convocatoria pública, habría que esperar.

Mientras duró la espera, Einstein sobrevivió como pudo dando clases particulares. De mayo a julio de 1901 consiguió un puesto temporal como profesor interino de matemáticas en la Escuela Técnica de Winterthur.

Estando allí, terminó un trabajo sobre termodinámica. Lo presentó en noviembre en la Universidad de Zurich con la intención de conseguir el doctorado. Más adelante, el artículo de Einstein se publicó en *Annalen der Physik*. Anteriormente, Kleiner se había negado a aceptarlo como tesis doctoral.

Todavía era incierto el resultado de su intento de obtener el doctorado, cuando, el 2 de diciembre de 1901, se produjo una vacante en la oficina de patentes. La convocatoria para la misma apareció en el boletín oficial. Einstein solicitó inmediatamente el puesto: ingeniero de segunda.

En febrero de 1902 fijó su residencia en Berna y trató de ganarse la vida con clases particulares. El 14 de marzo cumplió veintitrés años, y una semana más tarde, según el calendario oficial, el invierno dejaba paso a la primavera. El siguió con sus clases particulares.



Einstein en la oficina de patentes de Berna.

Llegó abril, y mayo, y junio. Y por fin, el 23 de junio de 1902, coincidiendo casi con la llegada del verano, Einstein comenzó a trabajar en la oficina de patentes suiza en calidad de experto técnico de tercera clase, con un modesto sueldo de 3.500 francos al año. El puesto no era todavía definitivo. Para conseguirlo debería pasar un período de prueba.

Pero por lo menos tenía un trabajo estable. Pronto se adaptó al cargo. Estaba encantado de verse libre de un mundo académico hostil que tantos quebraderos de cabeza le había producido.

Eidg. Amt für geistiges Eigentum.

Vakante Stelle:	Ingenieur II. Klasse.
Erfordernisse:	Gründliche Hochschulbildung in mechanisch-technischer oder speciell physikalischer Richtung, Beherrschung der deutschen und Kenntnis der französischen Sprache oder Beherrschung der französischen und Kenntnis der deutschen Sprache, eventuell auch Kenntnis der italienischen Sprache.
Besoldung:	Fr. 3500 bis 4500.
Anmeldungstermin:	28. Dezember 1901.
Anmeldung an:	Eidg. Amt für geistiges Eigentum, Bern.

Anuncio aparecido en el Schweizerisches Bundesblatt del 2 de diciembre de 1901, con la convocatoria para cubrir una plaza de ingeniero de segunda clase en la oficina de patentes de Berna. Los requisitos principales son: «formación universitaria en mecánica y tecnología, o en física».

Gracias a su amigo Marcel Grossmann, había conseguido un refugio en el que en sus ratos libres podía trabajar tranquilamente, pero con verdadera pasión, en sus ideas. En este invernadero tan insólito fue madurando su genio.

El último año de su vida, hablando de la recomendación a Haller en la oficina de patentes, Einstein la calificaba como «lo más grande que Marcel Grossmann hizo por demostrarme su amistad». Esto no quiere decir que Grossmann vaya a desaparecer de nuestro relato. Por el contrario, los destinos de los dos hombres seguirían unidos y tendremos ocasión de comprobar que Grossmann hizo todavía mucho por Einstein. Cuando, en 1936, tras larga y dolorosa enfermedad, Grossmann murió de esclerosis múltiple. Einstein escribió a la viuda una sentida carta de condolencia. Intentando reflejar todo lo que Grossmann había sido para él, escribió: «...Me vienen a la memoria nuestros días de estudiantes en el Politécnico.

El era un estudiante modelo; yo, desordenado y soñador. El se llevaba magníficamente con los profesores y lo entendía todo a la primera; yo era un joven reservado e insatisfecho, no demasiado bien visto. Pero nos hicimos muy buenos amigos, y nuestras conversaciones casi semanales, mientras tomábamos café con hielo en el *Metropol*, figuran entre mis recuerdos más agradables. Luego, al terminar los estudios... de repente me vi abandonado por todos, sin saber qué camino elegir. Pero él siguió a mi lado y gracias a él y a su padre, conocí varios años después a Haller, el de la oficina de patentes. En cierta forma, me salvó la vida; no porque, de lo contrario, hubiera muerto, sino porque habría visto atrofiado mi desarrollo intelectual.»

Capítulo 3

Preludio

Con Einstein cómodamente instalado en la oficina de patentes, parece que ya no tiene mucho sentido volver a su período de espera en Berna. ¿Por qué detenernos en el pasado, cuando nos espera un futuro tan rico en contenido?

Pero el período que Einstein pasó en Viena como profesor particular no fue tan triste e inútil como podríamos imaginar. En torno a la semana santa de 1902, una semana después de la llegada de la primavera, un rumano, Maurice Solovine, vio en un periódico de Berna un anuncio en que Albert Einstein ofrecía sus servicios como profesor particular de física por tres francos a la hora. Solovine, estudiante de filosofía en la Universidad de Berna, tenía intereses muy amplios. Se dirigió a la dirección indicada en el anuncio y explicó a Einstein que estaba defraudado de las abstracciones de la filosofía y que quería estudiar más a fondo una materia más sólida, como era la física. Aquello tocó una cuerda sensible de Einstein, que entabló una animada discusión. Dos horas más tarde, cuando Solovine tuvo que marcharse, Einstein le acompañó a la calle, donde siguieron discutiendo por espacio de media hora. Al día siguiente celebraron su primera clase, pero lo único que hicieron fue seguir con la discusión. Al tercer día Einstein dijo que aquellas discusiones eran mucho más interesantes que unas clases de física. A partir de entonces, se vieron periódicamente. Pronto se les unió Konrad Habicht, matemático amigo de Einstein. Así nació lo que aquellos tres hombres bautizaron cariñosamente con el nombre de «Academia Olympia». Lo mismo que otras personas se reúnen para jugar a las cartas, Einstein y sus amigos se veían para hablar de filosofía y de física y, de vez en cuando, de literatura o de cualquier otro tema que se les ocurriera, con pasión y muchas veces tumultuosamente. Einstein era quien llevaba la voz cantante. Las reuniones solían celebrarse en su apartamento. Comenzaban con una cena frugal y solían pasar luego a discutir hasta altas horas de la noche, provocando las protestas de los vecinos. Los amigos leían en común y examinaban juntos las grandes obras filosóficas y científicas que más

habían influido en el desarrollo de las ideas de Einstein. Sin dejar de ser un hombre solitario, Einstein se encontraba allí en su propio elemento. La Academia Olympia era algo serio, pero sobre todo una fuente de distracción.

Habicht acabó convirtiéndose en maestro de su ciudad natal, Schaffhausen, donde Einstein había pasado un breve período como profesor particular. Solovine fijó luego su residencia en París, trabajando como editor y escritor, y fue el traductor oficial de las obras de Einstein al francés.



Fotografía de los miembros de la «Academia Olimpia»: Konrad Habicht. Maurice Solovine y Einstein.

Habicht se marchó de Berna en 1904 y Solovine un año más tarde, por lo que la Academia Olympia tuvo una existencia muy breve. Pero los tres amigos siguieron en contacto, y conservaron el recuerdo de la Academia.

El 10 de octubre de 1902 moría el padre de Einstein. Murió demasiado pronto para comprender la verdadera talla de su hijo. Aturdido y desorientado, Einstein quedó abrumado por una sensación de desconsuelo, y se preguntaba una y otra vez por qué había muerto su padre y no él. Muchos años después recordaba todavía con intensidad aquella terrible impresión de abandono. En una ocasión llegó a escribir

que la noticia de la muerte de su padre había sido la conmoción más fuerte de toda su vida.

Pero pudo encontrar en la ciencia un antídoto contra su dolor. Su mente estaba llena de ideas científicas en las que trabajaba siempre que tenía ocasión. En la oficina de patentes, por ejemplo, aprendió a realizar sus obligaciones con gran eficiencia y de esa manera pudo ganar un tiempo precioso para seguir a escondidas con sus cálculos, que ocultaba en un cajón cuando oía pasos. Años más tarde, cuando ya era un personaje mundialmente famoso, reconocía que al recordar estos hechos tenía todavía remordimientos de conciencia.



Einstein con su esposa Mileva y su hijo Hans Albert, Berna, 1904.

Cuando, en 1903, se casó con Mileva Maric, perteneciente a la iglesia ortodoxa griega, los padrinos fueron Solovine y Habicht. El primer hijo de Einstein, Hans

Albert, nació en 1904 y el segundo, Eduard, en 1910. El matrimonio no fue muy feliz. Sin embargo, después del divorcio, Mileva y Einstein siguieron siendo amigos.

En 1902, Einstein había terminado su tercer artículo científico, que como los anteriores se publicó en *Annalen der Physik*. En enero de 1903 escribió una carta que presenta un doble interés. Iba dirigida a su amigo de los tiempos de Zurich, Michele Besso, de quien ya hemos dicho que se casó con la hija de Jost Winteler. Al hacer referencia a un cuarto trabajo de investigación, la carta permite atisbar lo exigente que era Einstein consigo mismo: «El lunes envié, por fin, mi trabajo, tras muchos cambios y correcciones. Ahora ha quedado perfectamente claro y sencillo, y estoy satisfecho con el resultado.» La carta revela también las aspiraciones académicas de Einstein y una vieja herida: «Hace poco decidí hacerme *Privatdozent*², suponiendo que pueda, claro. Por otra parte, no tengo intención de conseguir el doctorado, que, en definitiva, no sirve para gran cosa y creo que no es más que una comedia aburrida.»

El cuarto trabajo de investigación fue aceptado también por *Annalen der Physik*. En 1904 entregó el quinto. Es probable que algunas de las solicitudes presentadas en la oficina de patentes, y que Einstein tenía que examinar, contuvieran modelos para conseguir el movimiento perpetuo. De ser así, aunque a veces resultara difícil encontrar dónde estaba la trampa, Einstein sabía perfectamente que, por principio, no podían conseguir tal resultado. Sus artículos tercero, cuarto y quinto trataban de termodinámica, ciencia basada en dos leyes que afirman, en el fondo, la imposibilidad de hacer máquinas con un movimiento perpetuo. Cuando se formula en términos más técnicos, la segunda ley de la termodinámica contiene un concepto clave, el de *entropía*, cuyo significado no es esencial para nuestro relato, por fortuna. Sólo queremos señalar que el científico austríaco Ludwig Boltzmann lo interpretaba en términos de probabilidad, pues Einstein aplicaría luego magistralmente este concepto. ¿Cómo consiguió dominar los aspectos estadísticos

² Para emprender una carrera académica el primer prerrequisito era ser *Privatdozent*, o profesor auxiliar vinculado a una universidad.

de la termodinámica? De la mejor forma posible para llegar a una comprensión profunda. Comenzó con las obras innovadoras de Boltzmann y desarrolló las ideas más detalladamente por su propia cuenta. Este fue el tema del tercero, cuarto y quinto artículos. No sabía por entonces que, aunque con aspectos nuevos, estaba ocupándose de un campo ya explorado por Boltzmann y que, casi simultáneamente con Einstein, estaba siendo explorado también por el científico americano Willard Gibbs. Pero esto nos da una pista del autodidactismo que había alcanzado Einstein, pues Boltzmann y Gibbs estaban entre los gigantes científicos de su tiempo. Además, al desarrollar ciertas ideas estadísticas que luego examinaría más a fondo, había ido mucho más lejos que Gibbs y Boltzmann.



Michele Besso y su prometida. Arma, hija de Jost Winteler. 1898.

Estos primeros trabajos de Einstein no eran todavía más que el prelude, la puesta de los cimientos. Tuvo que escribirlos en circunstancias no demasiado fáciles. Las bibliotecas científicas que podía consultar eran sumamente incompletas. Y mientras

realizaba estas investigaciones tenía que seguir con su rutinario trabajo en la oficina de patentes. Tras un examen de ingreso en la administración pública, se le concedió este puesto con carácter permanente.

Fue por entonces cuando Michele Besso, animado por Einstein, aceptó un empleo en la oficina de patentes. Besso, italiano, era ingeniero. Pero, más importante todavía que su talento y la amplitud de sus conocimientos era su gran generosidad. Las ideas de Einstein se estaban acercando a un punto culminante múltiple y espectacular, y Einstein y Besso solían hablar de ellas no sólo en la oficina sino también mientras iban de casa al trabajo. Al adoptar una postura deliberadamente crítica, Besso ayudó a Einstein a perfeccionar sus concepciones. Pero Besso animó en todo momento a su amigo y le demostró su entusiasmo. Fue la piedra de toque ideal para las ideas de Einstein. Este, alejado del mundo académico, tuvo la inmensa fortuna de haber disfrutado de la amistad de Besso, y de la de Habicht y Solovine, mientras estuvo en Berlín.

En 1905 el genio de Einstein se abrió como una flor deslumbrante. Fue un año fabuloso. En los anales de la física, puede compararse con los años 1665-1666, cuando la peste que asolaba a Inglaterra obligó al joven Newton a abandonar Cambridge para retirarse a su casa en el tranquilo ambiente de Woolsthorpe, donde, en total secreto- desarrolló el cálculo, hizo importantes descubrimientos sobre la luz y el color y emprendió el camino que le llevaría, años más tarde, a su ley de la gravitación universal.

En la primavera de 1905 Einstein escribía a Habicht. Era una carta en la que reflejaba su alegría y le censuraba con humor por no haberse mantenido en contacto con él. «Desgraciado, decía, después de llenar de insultos a Habicht-, ¿por qué no me has enviado todavía tu tesis? ¿No sabes que sería el único que la iba a leer con interés y placer? A cambio, te prometo cuatro artículos... el primero... es muy revolucionario...»

Capítulo 4

Amanece una nueva luz

El primer artículo era realmente revolucionario. ¿Contenía la teoría de la relatividad? No. Todavía tenemos que esperar un poco para eso. Se trata de parte de lo que Einstein denominó más tarde *Gelegenheitsarbeit*. Comienza con algo que parece muy simple: si aplicamos calor a un trozo de hierro, éste se calienta. Si le aplicamos más calor se calienta más, y después de cierto tiempo comienza a ponerse de color rojo pálido. Si seguimos calentándolo, el brillo es cada vez mayor y va cambiando de color, poniéndose naranja, luego amarillo y finalmente adquiere un deslumbrante tono blanco azulado. Todo esto parece una vulgaridad. Sin embargo, dentro de todo ello hay algo que resulta muy enigmático.

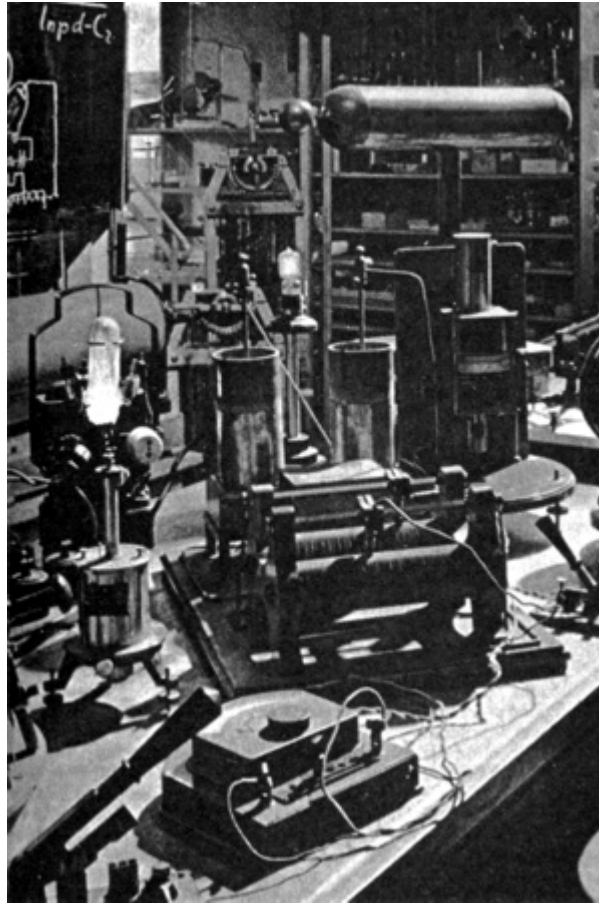
¿Qué podrían hacer los científicos para obtener una fórmula matemática que describiera el brillo a diversas temperaturas? Una posibilidad sería que los experimentadores midieran el brillo y su color e hicieran un gráfico con los resultados, con la esperanza de obtener una relación matemática que saltara a la vista. Pero aun en ese caso, los teóricos no quedarían satisfechos. Preferirían deducir la fórmula matemática de lo que ya sabían sobre el comportamiento del calor, de la luz y de la materia.

¿Qué era lo que ya sabían? Depende de la época. A finales del siglo XIX sabían muchas reglas y conceptos, bellamente entrelazados, que, en muchos sentidos, funcionaban sorprendentemente bien. No había sido fácil obtenerlos, pero tenemos tantas cosas que decir en tan poco espacio que aquí debemos limitarnos a tratar por encima los puntos culminantes de su desarrollo.

Pensemos, por ejemplo, en la luz. En el siglo XVII Newton expuso una teoría de la luz y del color que podía explicar todos los datos ópticos experimentales conocidos en su época. En términos generales, podríamos decir que entendía la luz como un flujo de partículas, cada una con una especie de pulsación cuya velocidad determinaba su color. El físico holandés Christiaan Huygens, contemporáneo suyo, había propuesto una teoría totalmente distinta. Para él, la luz se propagaba no en

forma de flujo de partículas, sino como una especie de onda rudimentaria. Como la teoría de las partículas podía explicar más fenómenos, acabó imponiéndose.

Pero con el siglo XIX llegó una gran conmoción. A partir de 1799, un médico, físico y luego egiptólogo, el inglés Thomas Young, encontró pruebas sorprendentes que parecían demostrar la teoría ondulatoria de la luz.



Un rincón del laboratorio de física del Instituto Politécnico de Zurich, centro en el que estudió Einstein y donde más tarde llevó a cabo algunas investigaciones sobre el llamado efecto fotoeléctrico.

Aunque no hace falta entender todos los detalles, su idea general merece ciertamente nuestra atención. Young venía a decir, en esencia, que la luz que incide sobre otra luz puede producir oscuridad. Por ejemplo, si la luz que procede de una fuente diminuta atraviesa dos rendijas hechas en una pantalla, produce bandas de

luz y de oscuridad al proyectarse en otra pantalla. ¿Cómo es posible que la luz, al sobreponerse a la luz, produzca bandas oscuras? La teoría de las partículas no podía dar una explicación adecuada.



Einstein tenía en las paredes de su estudio tres retratos de grandes científicos. Se ha perdido el de Newton. Los otros dos, de Faraday y Maxwell, son los que aparecen sobre estas líneas.

Pero para la teoría de las ondas los lugares oscuros no presentaban ningún problema. Eran lugares donde las ondas superpuestas se anulaban porque iban a contratiempo: una estaría en la cresta mientras la otra estaba en el valle, y viceversa. Young llamó a este fenómeno *interferencia*; las franjas de luz y oscuridad reciben el nombre de *franjas de interferencia*.

Es importante señalar que Young proponía una teoría ondulatoria de la luz sin esperar a tener explicaciones ondulatorias para todos los efectos ópticos conocidos. Como suele ocurrir cuando se atacan a fondo las ideas establecidas, su obra fue objeto de amargas críticas. Pero doce años más tarde Young encontró un brillante aliado en el físico francés Augustin Fresnel, a quien se le ocurrió, independientemente, la misma idea de la interferencia y encontró pruebas abrumadoras contra la teoría de las partículas. Las pruebas fueron acumulándose

con tal rapidez que al cabo de una década, más o menos, la teoría de las partículas estaba prácticamente muerta. No había demasiada necesidad de aplicar el *coup de grâce*, aunque a los científicos les gusta cerciorarse. Por eso, se realizó el experimento decisivo de medir la velocidad de la luz en el agua. Según Newton, la velocidad sería mayor que en el aire; según la teoría ondulatoria, sería menor. El experimento demostró esto último.

Pero eso no fue todo. Desde un lugar inesperado vino una confirmación de la teoría ondulatoria de la luz. En 1819 el físico danés Hans Christian Oersted descubrió una relación específica entre electricidad y magnetismo. Demostró que la corriente eléctrica que atraviesa un cable afecta a una aguja magnética. Poco después, el físico francés André Marie Ampere analizó este efecto desde el punto de vista matemático y experimental, y lo hizo tan brillantemente que fue saludado como el Newton del electromagnetismo.

Mientras tanto, el investigador inglés Michael Faraday estaba realizando importantes descubrimientos experimentales en el campo de la electricidad y del magnetismo. Era un hombre en gran parte autodidacto y sin demasiada preparación matemática, por lo que no podía interpretar sus resultados tal como lo hiciera Ampere. Fue una suerte, pues de esta manera llegó a producir una revolución en la ciencia. Ampere y otros habían concentrado su atención en el equipo visible, imanes, cables con corriente y cosas semejantes- y en el número de centímetros que separaban a tales objetos. Con ello seguían la tradición de la acción a distancia, que se había desarrollado tras el enorme éxito de la mecánica y de la ley de gravitación de Newton. En cambio, Faraday consideraba que el equipo era secundario. Para él, los hechos físicos importantes se producían en el espacio circundante: el *campo*. Lo llenó, mentalmente, de tentáculos que con sus tirones y empujones y con sus movimientos daban lugar a los efectos electromagnéticos observados. Aunque podía interpretar de esta manera sus experimentos electromagnéticos, y hacerlo con enorme precisión y sorprendente facilidad, la mayoría de los físicos partidarios de las matemáticas pensaban que sus conceptos eran muy ingenuos.

Entre los pocos que no pensaron así estaba el físico escocés James Clerk Maxwell,

de quien ya hemos hablado brevemente en relación con Einstein y con la oficina de patentes. Maxwell comprendió que los aparentemente primitivos conceptos del campo de Faraday tenían un importante contenido matemático e implícitamente dio por válida la intuición del investigador inglés. Su propia intuición fue también muy interesante. Le llevó a aplicar al campo electromagnético un modelo pseudomecánico de remolinos y cojinetes, entendido más como apoyo intelectual provisional que como un concepto físico serio, era un modelo tan extraño que al propio Maxwell le parecía poco creíble-. Al menos, permitía evitar la acción a distancia. Pero la intuición de Maxwell fue tan genial que dentro de este modelo increíble estaban los principios esenciales del electromagnetismo. Con ayuda de él, y utilizando un concepto mitigado del campo electromagnético, Maxwell elaboró una serie de ecuaciones del campo electromagnético de gran simetría y belleza. Como consecuencia matemática de esta simetría dedujo que debía haber ondas electromagnéticas, que dichas ondas se desplazaban a la velocidad de la luz y que poseían, entre otras propiedades, todas las que Young y Fresnel habían atribuido a sus ondas de luz para explicar el experimento. Luego, declaró que las ondas de luz y las ondas electromagnéticas debían ser, en esencia, una y la misma cosa.

Esto ocurría en los años 1861 a 1864. Pero la mencionada simetría parecía ir contra las probabilidades físicas, por lo que la teoría de Maxwell, a pesar de la admiración que provocó, no fue demasiado aceptada mientras él vivió. Murió en 1879, año de nacimiento de Einstein. Hasta 1888 no se confirmó la teoría de Maxwell. Ese año, el físico alemán Heinrich Hertz produjo y detectó electromagnéticamente lo que ahora llamamos *ondas hertzianas*, y demostró con todo detalle y de forma incontrovertible que se comportaban tal como había previsto Maxwell. En consecuencia, las ecuaciones de Maxwell recibieron la consideración que se merecían, y uno o dos años más tarde el propio Hertz dijo: «La teoría ondulatoria de la luz es, desde el punto de vista de los seres humanos, una certeza.»

Las ondas luminosas son ondas electromagnéticas cuyas frecuencias, o velocidades de oscilación, están situadas dentro de un margen muy reducido. Los colores dependerían de las frecuencias. Fuera de este estrecho margen de frecuencias, la

radiación electromagnética no es visible para el ojo humano. En frecuencias superiores está lo que llamamos rayos ultravioleta; y todavía más arriba están los rayos X y los rayos gamma. En frecuencias más bajas están la radiación infrarroja y la radiación térmica; y en frecuencias aún inferiores, las ondas hertzianas. Esto constituye una notable unificación. Las diversas radiaciones, que aquí aparecen reunidas, se consideran como miembros de una gran familia de fenómenos electromagnéticos, emparentados con el magnetismo de la aguja magnética que tanto llamó la atención de Einstein cuando tenía cinco años.

Dejemos, por el momento, la luz y el electromagnetismo. Veamos ahora qué ocurre con el calor. Alguien dirá que acabamos de hablar de él. Pero hablábamos del calor en forma de radiación. El hierro incandescente tiene también un calor interior, que hoy día se considera como una vibración interna microscópica y, junto con la radiación, como una de las numerosas formas de energía.

La historia del calor y del desarrollo de la ciencia de la termodinámica es larga y complicada, y aquí debemos omitirla casi por completo. Es cierto que así somos injustos con los audaces innovadores que establecieron los cimientos de la termodinámica frente a la decidida oposición de los físicos, pero este es un libro sobre Einstein y durante todo este capítulo le hemos dejado entre bastidores esperando la palabra clave para salir a escena. Sin embargo, todavía no ha llegado el momento. Digamos brevemente que los teóricos, sobre todo Maxwell y Boltzmann, habían desarrollado una teoría de los gases, según la cual éstos consistirían en partículas que entrec chocan en un movimiento caótico, y la energía de este movimiento, como la energía de las vibraciones internas de los sólidos, sería calor. Una vez dicho esto, pasemos rápidamente al año 1900 y veamos las repercusiones que tuvo el primero de los famosos artículos de Einstein.

En octubre de 1900, el eminente físico alemán Max Planck oyó en Berlín ciertas noticias inquietantes. Como otros, hacía tiempo que intentaba explicar los detalles del resplandor de un «cuerpo negro» caliente, idealización del hierro caliente. En años anteriores había ayudado a deducir, partiendo de principios físicos, una fórmula que indicaba la magnitud de cada color que había en el resplandor; o, dicho

en términos más técnicos, qué cantidad de la energía total de la radiación pertenecía a cada frecuencia. Esta fórmula de la radiación del cuerpo negro había sido expuesta por primera vez por el físico alemán Wilhelm Wien, que recibiría el premio Nobel en 1911. Parecía encajar bastante bien con los experimentos, pero de repente los experimentos realizados demostraron que, aunque era válida en las frecuencias superiores, no lo era en las más bajas. ¿Qué se podía hacer? Con un hábil artificio matemático, Planck creó una nueva fórmula de la radiación del cuerpo negro. Esta fórmula ha resistido la confrontación experimental hasta nuestros días.

Planck había dado con la fórmula mediante un artificio matemático, por lo que luego tuvo que enfrentarse con la tarea de deducirla de principios físicos. Las semanas siguientes, como dijo en el discurso de la ceremonia del premio Nobel dieciocho años después, fueron las más intensas de su vida. En el mes de diciembre había dado con la solución, pero juzgue el lector mismo si era creíble. Supongamos que Planck hubiera dicho con toda seriedad que un columpio *sólo* puede oscilar describiendo arcos que midan uno, dos, tres metros, y así sucesivamente, pero no metro y medio, cincuenta centímetros, ni ninguna de las demás medidas intermedias. Lo más probable es que el lector piense que se trataba de una afirmación absurda. Sin embargo, esto era, a escala microscópica, parte de lo que Planck tenía que suponer para deducir su fórmula. Dicho en otras palabras, tenía que suponer que estas oscilaciones microscópicas no cambiaban la energía de forma progresiva sino mediante saltos de cantidades discretas que él denominó *quanta*. Tuvo que suponer también que la proporción *energía/frecuencia oscilatoria* debía tener el mismo valor en cada uno de los saltos. Este valor, representado por h , recibe ahora el nombre de *constante de Planck*, y su teoría de los quanta constituye un momento trascendental en la historia de la ciencia. Transformó la física.

Pero no debemos dejarnos engañar por nuestro conocimiento de lo que ocurrió después. Para Planck, en 1900, la teoría de los quanta resultaba muy incómoda. La había introducido, dijo mucho más tarde, «llevado por la desesperación». A pesar

de sus dudas, presentó su trabajo ante la Sociedad Física de Alemania el 14 de diciembre de 1900, en una conferencia que apareció luego publicada en las actas de dicha sociedad. Envío una versión más amplia a *Annalen der Physik*, donde apareció en 1901. Fue acogida con lo que podríamos llamar un silencio de cortesía. El propio Planck pasó después muchos años intentando deducir su fórmula de la radiación por medios menos radicales. Eso sí, sin tratar de prescindir de h , que, como parte de la fórmula de la radiación, debía mantenerse en todos los casos y que en realidad ya estaba presente en la fórmula incompleta propuesta por Wien.

De finales de 1900 a 1905, el concepto de *quantum* permaneció en el olvido. Parecía que en todo el mundo sólo había una persona capaz de tomárselo en serio. Ese hombre era Einstein. Vio inmediatamente la importancia de la obra de Planck, y el 17 de marzo de 1905, tres días después de cumplir los veintisiete años, envió a *Annalen der Physik* el primero de los cuatro artículos que había mencionado a Habicht, precisamente el que era «muy revolucionario».

El artículo de Einstein comenzaba con una observación profundamente sencilla que llegaba hasta el fondo del problema.

Había, señalaba él, un conflicto fundamental entre la forma en que los físicos teóricos consideraban la materia y la forma en que consideraban la radiación. Trataban la materia como si estuviera compuesta de partículas.

Pero las ecuaciones de Maxwell, que eran ecuaciones de campo, trataban la radiación como algo uniforme y continuo, sin el menor rastro de atomicidad. Por eso, cuando se trataba al mismo tiempo la materia y la radiación, las teorías tradicionales entraban en conflicto. No cabía esperar que se mezclaran armónicamente. Einstein pasaba luego a demostrar que el enfrentamiento era, matemáticamente, inevitable.

¿Cuál era el remedio? Einstein era plenamente consciente de los enormes triunfos de la teoría ondulatoria electromagnética aplicada a la luz. Pero sabía también que había situaciones en las cuales fallaba, y propuso audazmente la hipótesis de trabajo de que la luz podía estar formada por partículas.

Al proponerlo, no estaba dando palos de ciego como un aficionado cualquiera.

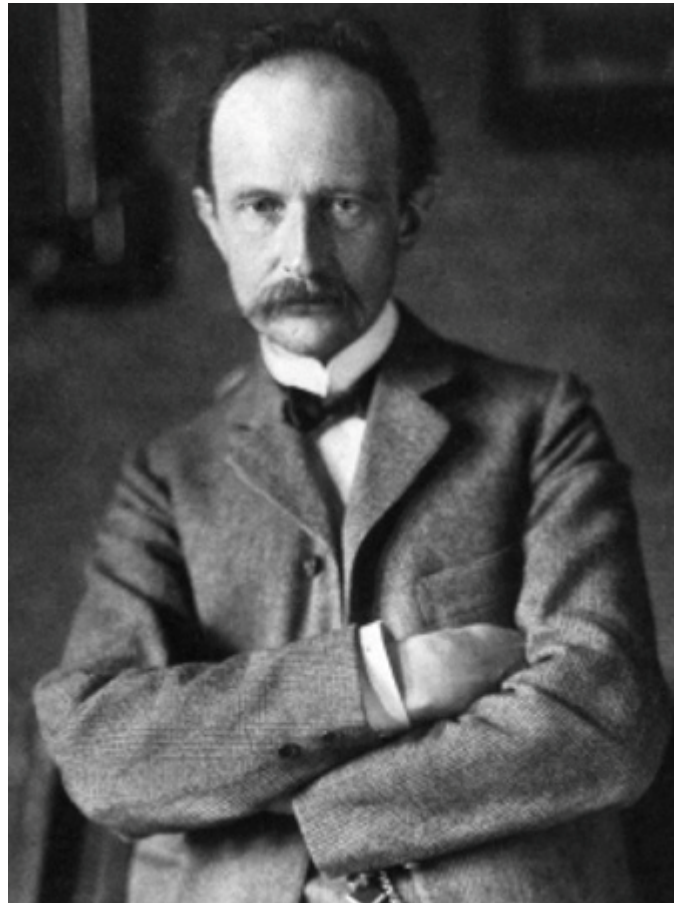
Einstein no se habría atrevido a formular una idea tan escandalosa sin sólidas razones. Intentemos señalarlas, aunque sólo sea para demostrar su visión intuitiva de lo que era esencial. Tuvo que proceder con audacia y al mismo tiempo con cautela, apoyándose siempre en los puntos firmes que divisaba en medio de la confusión. Se basó en la fórmula del cuerpo negro de Wien, incompleta sin duda, pero quizá válida para lo que él se proponía: donde demostraba ser válida, era excelente. De esta manera, evitó comprometerse con ningún mecanismo concreto, como el propuesto por Planck. Así era más seguro.

De Wien citó una fórmula sobre la entropía de la radiación. Comparándola con la fórmula del cuerpo negro del propio Wien, Einstein demostró que la entropía de la radiación adquiriría entonces una forma matemática característica de la de un gas, y por *tanto de partículas*. Luego, comparando esto de otra manera con la fórmula probabilística de Boltzmann, Einstein demostró que estas partículas de luz debían ser de tal manera que la proporción *energía/frecuencia* tuviera precisamente el valor que Planck había utilizado para los saltos de sus quanta.

Pensemos en el profundo conocimiento de la física que Einstein debía tener y lo certero de su intuición para ser capaz de fijarse precisamente en los principios fundamentales que iban a dar estos notables resultados. Era plenamente consciente de las numerosas objeciones que los físicos podían presentar a su propuesta. Sin embargo, como si la hipótesis de Planck no fuera ya bastante molesta, Einstein propagó la «infección» del quantum a la misma luz. Pudo explicar la continuidad de Maxwell como un emborronamiento debido al paso del tiempo, de la misma manera que la foto de un corredor sale borrosa cuando el tiempo de exposición no es el adecuado. Pero sabía también que no podía negar la existencia de las ondas de Maxwell, demostradas con toda claridad por Hertz, ni el experimento de la velocidad de la luz en el agua, ni, para referimos a los aspectos básicos, las fuertes pruebas que en favor de la «interferencia» y en contra de la teoría de las partículas presentaron Young y Fresnel, casi un siglo antes de que Planck formulara su idea clave.

Hay un sorprendente paralelismo entre Young y Einstein. Cuando Young utilizó

por primera vez sus argumentos sobre la interferencia, la luz que anulaba a la luz frente a la teoría dominante, la de las partículas, sabía que no tenía la información suficiente para responder a todas las dificultades con que tropezaba la teoría ondulatoria. Sin embargo, no por ello dio marcha atrás, pues se daba cuenta de que la teoría de las partículas era vulnerable. Los acontecimientos posteriores justificaron plenamente su audacia. Un siglo después, frente a la teoría ondulatoria dominante, Einstein se mantuvo en sus trece.



El físico alemán Max Planck (1858-1947), hacia 1900.

Sabía que, gracias a las nuevas pruebas obtenidas, también Maxwell era vulnerable. Durante algún tiempo Einstein dejó de lado los enormes problemas suscitados por los quanta de luz y se concentró en las posibles ventajas de su idea. Como él mismo demostró, eran notables, sobre todo porque se daban en lugares donde la luz se

entremezclaba con la materia y donde la teoría de Maxwell resultaba inadecuada. Einstein demostró que sus quanta de luz podían explicar un efecto muy conocido relacionado con la fluorescencia. Hizo ver que también podían explicar un fenómeno que se observaba cuando la luz ultravioleta atravesaba los gases. Y, sobre todo, aplicó su idea a lo que se conoció como *efecto fotoeléctrico*, o liberación de los electrones de los metales gracias a la luz.

Este último aspecto es muy importante. Tres años antes, el físico alemán Philipp Lenard había iniciado los experimentos sobre el efecto fotoeléctrico. Insistió en que los resultados de su experimentación se contradecían claramente con lo que cabría esperar aplicando la teoría de Maxwell. Por ejemplo, al aumentar la frecuencia de la luz, aumentaba la energía de los electrones liberados, hecho que no tenía ningún sentido desde una perspectiva maxwelliana. Einstein demostró que la idea de los quanta de luz podía explicar con suma facilidad los sorprendentes resultados obtenidos por Lenard. Tomemos, por ejemplo, el efecto del cambio de frecuencia. Proyectar la luz sobre el metal equivalía a arrojar sobre él quanta de luz. Como la proporción *energía/frecuencia* tenía un valor fijo, a mayor frecuencia mayor energía, y por tanto mayor sería el impacto producido por la luz sobre el electrón con el que chocara. No es extraño que los electrones se desprendieran con mayor energía cuando aumentaba la frecuencia de la luz. Los demás efectos extraños podían explicarse con la misma facilidad, y Einstein consiguió deducir una fórmula fotoeléctrica muy sencilla allí donde la complicada teoría de Maxwell resultaba inútil. Los resultados fotoeléctricos superaban con mucho lo que por entonces se sabía de forma experimental.

Este fue, en resumen, el contenido del artículo de Einstein. Acabaremos el capítulo echando un vistazo más allá de 1905.

Los físicos no recibieron la idea de Einstein con los brazos abiertos. Ocurrió exactamente lo contrario. Planck y otros científicos de gran talla encontraron en seguida graves objeciones al concepto de quanta de luz. Por fortuna, Einstein tenía muchas más ideas sobre el quantum. La teoría del calor interior, en cuanto energía de movimiento de las partículas de los gases que entrechocaban entre sí y de las

vibraciones internas de los sólidos, había conseguido importantes éxitos. Pero ya antes de 1900 tropezó con grandes dificultades que ponían en peligro su supervivencia. En 1907 Einstein la salvó. Decía que si, como él pensaba, había que tomarse en serio la idea de Planck, ésta debía tener aplicación en todos los tipos de vibraciones internas, sin ninguna excepción. Demostró de qué manera podían resolverse las principales dificultades mediante el quantum, y en especial eliminó las discrepancias experimentales relacionadas con los calores vibratorios internos de los sólidos, y dedujo la existencia de interrelaciones insospechadas, que luego se verificaron experimentalmente.

Como consecuencia de estas investigaciones de Einstein sobre el quantum, y dado que éste no parecía tan peligroso cuando se le encerraba dentro de los límites de la materia como cuando se dejaba suelto, otros físicos comenzaron a tomarse en serio la idea de Planck y, junto con Einstein, a aplicarla con magníficos resultados. Pero no demostraron ningún entusiasmo por los quanta de luz de Einstein. Intentaron comprobar experimentalmente su fórmula fotoeléctrica, pero los experimentos resultaban difíciles y todavía en 1913 los resultados eran poco concluyentes. En dicho año, Planck y un selecto grupo de científicos tuvieron la oportunidad de expresar la opinión que les merecía Einstein. Aunque hablaban en términos muy elogiosos de su trabajo, manifestaban sus reservas sobre su idea de los quanta de luz, dando a entender con delicadeza que no había que reprochar a tan audaz innovador por haberse excedido.

El investigador americano Robert Millikan, tras medir con precisión la carga eléctrica del electrón, buscaba nuevos terrenos que conquistar. Como correspondía a su personalidad, buscó con toda intención un problema especialmente difícil y decidió investigar el efecto fotoeléctrico. Estuvo trabajando diez años, con el propósito de demostrar de una vez por todas que la increíble teoría de Einstein no encajaba con los resultados experimentales. Con gran sorpresa por su parte, comprobó que había entre ambos una maravillosa concordancia. Sin embargo, cuando publicó sus resultados finales en 1916, no se resignó a aceptar la idea revolucionaria de los quanta de luz. No obstante, cada vez era más claro que a

pesar de los enormes problemas que suscitaban, los cuanta de luz debían tomarse muy en serio y que Einstein, ya en 1905, mientras estaba en su oficina de patentes, había sido más lúcido que todos sus contemporáneos. Tanta importancia adquirió el quantum de luz, la partícula de luz-, que se le reconoció el derecho a tener un nombre propio, el de *fotón*. Pero para ello tuvieron que pasar veinte años desde su concepción. Millikan obtuvo el premio Nobel en 1928. Y cuando Einstein lo recibió en 1921, lo único que se mencionaba en el documento oficial era su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico.

Lo curioso era que el efecto fotoeléctrico había sido descubierto por Heinrich Hertz, precisamente mientras realizaba los experimentos que confirmaban la predicción de Maxwell y que llevaron a Hertz a reconocer como indudable la teoría ondulatoria de la luz.

Capítulo 5

La agitación atómica

«No tengo intención de conseguir el doctorado... creo que no es más que una comedia aburrida.» Al volver al año 1905, resuenan estas palabras que Einstein dijo a Besso en 1903.

De los cuatro artículos que Einstein mencionaba en su carta a Habicht, el menos importante es el segundo. Al parecer, Einstein lo terminó un mes después del primero. Lo envió a la Universidad de Zurich como posible tesis doctoral. Kleiner, que en 1901 había rechazado la tesis inicialmente propuesta por Einstein, lo rechazó por considerarlo demasiado breve. Einstein lo envió de nuevo añadiendo una sola frase, y fue aceptado. De esta manera consiguió el doctorado en 1905, en circunstancias que le permitían mantenerse fiel al espíritu, aunque no a la letra, de su amargo comentario a Besso. Tenemos razones para sospechar que llegó a pensar en pedir un préstamo a Besso para correr con los gastos de impresión de la tesis. En ella, después del título aparecen las palabras «Dedicada a mi amigo Marcel Grossmann». Por desgracia, hubo que suprimir este gesto de gratitud cuando el artículo apareció publicado en *Annalen der Physik* en 1906.

La idea en que se basaba el artículo pudo ocurrírsele a Einstein tomando el té. Todos sabemos que si introducimos en agua un terrón de azúcar, éste se disuelve y se extiende por el agua, con lo que el líquido se vuelve algo más viscoso. Pero seguro que no adivinamos lo que Einstein dedujo de esta observación. Veamos lo que podía hacer su ingenio con un poco de agua azucarada.

Como siempre, fue derecho al grano, concibiendo el agua como si fuera un fluido sin estructurar y las moléculas de azúcar como pequeñas esferas duras. Este modelo elemental le permitió hacer cálculos que hasta entonces habían resultado imposibles, y después de prolongados esfuerzos, dedujo varias ecuaciones que indicaban la forma en que las esferas debían difundirse para, mediante su presencia, aumentar la viscosidad del agua.

Y ahora es cuando viene la sorpresa. Tras elaborar la teoría, Einstein averiguó las

velocidades de difusión y las viscosidades de las soluciones de azúcar en el agua, introdujo estos números en sus ecuaciones y ¿qué es lo que averiguó? En primer lugar, lo que anunciaba en el título del trabajo, a saber «Una nueva determinación de los tamaños de las moléculas» —en el caso del azúcar daba una anchura aproximada de la vigésima parte de la millonésima de una pulgada- Dadas las circunstancias, el cálculo era bastante aproximado.

Pero eso no era todo. Encontró también un valor, de unos cien trillones- para lo que se conoce como *número de Avogadro*, que es el número de moléculas de un gas cualquiera en un volumen dado y en determinadas condiciones.

No fue Einstein el primero en averiguar los valores de estas cantidades fundamentales. Ya se habían realizado ingeniosos cálculos basados, por ejemplo, en las propiedades de los gases, pero nadie lo había hecho partiendo de las propiedades de las soluciones líquidas.

El número de Avogadro era de especial importancia. Sabiendo su valor, se podían deducir inmediatamente cosas como la masa de cualquier átomo. ¿Quién fue el primero en encontrar un valor fiable para este número clave? El honor corresponde a Planck. Y lo encontró en lo que podría parecer un lugar poco probable: en las mediciones de la radiación del cuerpo negro. En concreto, expuso su deducción en 1900 en un artículo sobre la hipótesis del *quantum*, hazaña en la que tanto Planck como Einstein habían reconocido, instintivamente, un progreso fundamental.

Pero, ¿cómo era posible encontrar el número de Avogadro a partir del brillo de un cuerpo negro? Parecen ser dos realidades sin ninguna relación.

Es difícil hacer ver la estrecha interconexión y las enormes posibilidades de aplicación de los principios en que se basaban los físicos. Tomemos como ejemplo la fórmula probabilística de la entropía propuesta por Boltzmann. Como estaba basada en la teoría molecular de los gases, contenía un número clave, la llamada *constante de los gases*, que aparecía siempre que se calculaba la entropía de forma probabilística, tanto si trataba de gases como si no.

Debemos contentarnos con este comentario tan incompleto, pues si queremos seguir el fuerte ritmo de los descubrimientos de Einstein, tenemos que caminar de

prisa. Un mes después de presentar el trabajo sobre el azúcar, Einstein envió a *Annalen der Physik* el tercero de los cuatro artículos que había mencionado a Habicht, el que con toda justicia se hizo tan famoso.

La hermana de Einstein, Maja, hablando de la época de su juventud, contaba cuánto disfrutaba el joven Einstein fumando en una pipa de un metro de largo que le había regalado su padre. En sus memorias escribió: «Le encantaba observar las maravillosas formas que adquirirían las nubes de humo y estudiar los movimientos de las partículas individuales de humo, así como la relación que había entre ellas.»



El físico y filósofo austríaco Ernst Mach (1838-1916), al que se debe, entre otras notables aportaciones, la fórmula para calcular la velocidad de los aviones en relación con la del sonido (número de Mach).

Quizá fue así como nació la inspiración para el artículo mencionado. Como antes,

vamos a seguir la línea general de su argumentación y su sorprendente desenlace. Einstein volvía sobre la idea de las pequeñas esferas duras sumergidas en un líquido, pero esta vez haciendo que el líquido tuviera estructura molecular y las esferas fueran relativamente enormes, del tamaño de una diminuta partícula de humo o alguna partícula semejante visible al microscopio.

Según la teoría de que el calor interno es energía motriz, las moléculas del líquido deberían estar en una situación de violenta agitación y de continuos choques. En sus investigaciones anteriores, Einstein había redescubierto uno de los resultados de Boltzmann: que en una mezcla de sustancias estos choques serían la causa de la energía de agitación, que se distribuiría igualmente entre las moléculas, independientemente de las masas que tuvieran.

Pero, ¿por qué limitarse a las moléculas? En cuanto a la distribución de la energía, Einstein pensó que las moléculas y las partículas estaban en condiciones de igualdad. Por supuesto habría una diferencia. Todos sabemos, por ejemplo, que una bola de billar no tiene que moverse a la misma velocidad que una pelota de ping-pong para igualar su energía.

Las partículas tendrían velocidades claramente inferiores a las de las moléculas del líquido. De hecho, la velocidad de una partícula sería comparable a la de la punta de un bolígrafo mientras se escribe. Pero el movimiento de las partículas no sería nada sencillo. Pensemos en una sola partícula en reposo, zarandeada por todas partes por las moléculas. Como los golpes en los lados contrarios se equilibran en conjunto, podemos esperar que la partícula se mantenga más o menos en reposo. Pero, en ese caso, estamos olvidando las leyes de la probabilidad. Einstein demostró que las fluctuaciones estadísticas, semejantes a las rachas de suerte al tirar los dados- producirían equilibrios lo suficientemente grandes como para dar a la partícula un movimiento intenso, irregular y en zigzag, visible al microscopio.

Al carecer de datos numéricos, Einstein no podía estar seguro de que el movimiento que había previsto fuera el llamado *movimiento browniano*, observado por primera vez por el botánico escocés Robert Brown en 1828. Pero estaba seguro de que, si la teoría molecular del calor interno era válida, tenía que producirse tal

movimiento. No sabía por entonces que en 1888 el físico francés M. Gouy había llegado ya a la conclusión de que el movimiento browniano era una forma de calor, ni que en 1906, independientemente de Einstein, el físico polaco Marian von Smoluchowski expondría un punto de vista semejante.

El rápido movimiento en zigzag de las partículas dificultaba la medición directa de sus velocidades. ¿Era posible someter la teoría a una prueba cuantitativa rigurosa? Einstein encontró un nuevo método. Hizo ver que, si se esperaba, los zigzags darían lugar a migraciones de diversas magnitudes. Señaló que este proceso migratorio era esencialmente un proceso de difusión, tal como lo había estudiado en el caso del azúcar y el agua. Calculándolo de ambas maneras, como migración aleatoria en zigzag y como difusión- y comparando los resultados, averiguó la fórmula que buscaba. Gracias a ella, dedujo una especie de migración media, mensurable, relacionada con números vinculados a las velocidades de difusión y a la teoría de los gases.

Pero dejemos ya los detalles y lleguemos al punto culminante. Si la teoría era correcta, el movimiento de agitación de las partículas sería calor, y las partículas tendrían que obedecer a las leyes del calor que dirigían los caóticos movimientos de las moléculas: las partículas demostrarían la teoría molecular del calor en una escala que, efectivamente, pondría de manifiesto la evidencia de la misma hipótesis molecular. Experimentos posteriores no sólo confirmaron la validez de la ecuación de Einstein, sino que demostraron que una cantidad clave que dirigía el movimiento browniano tenía el mismo valor numérico que su equivalente en la teoría molecular de los gases.

Esto tenía una importancia trascendental. El mismo Einstein lo explica en sus *Notas autobiográficas*:

«Mi objetivo principal... era averiguar los hechos que demostrarían, en la medida de lo posible, la existencia de átomos de un tamaño finito definido... La [verificación experimental de la] ley estadística... del movimiento browniano... junto con la determinación por Planck del verdadero tamaño molecular a partir de la ley de la radiación... convencieron a los escépticos,

que eran muchos por entonces (Ostwald, Mach), de la realidad de los átomos.»

Este es el punto culminante. Por fin, se ha llegado a aceptar el átomo, y con eso terminamos el capítulo.

Lo que sigue es una posdata. Ernst Mach, a quien Einstein menciona entre paréntesis, era un físico austríaco cuyas penetrantes ideas, en otros asuntos científico influyeron profundamente en Einstein. ¿Qué decir de Wilhelm Ostwald, todavía más escéptico? ¿No le suena el nombre? Fue el químico y físico alemán a quien, en 1901, Einstein y el padre de Einstein habían escrito sin ningún resultado. Es reconfortante hacer constar que Ostwald y Einstein llegaron a ser buenos amigos y se tuvieron en muy alta estima.

Capítulo 6

Tiempos mejores

«Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento.» Este título se ha hecho famoso en los anales de la ciencia. Es el del último de los cuatro artículos mencionados por Einstein en su carta a Habicht, y con él llegamos por fin a la relatividad. En su carta, Einstein había dicho que el artículo no era todavía más que un borrador. No seamos demasiado exigentes con él por eso. Terminó el manuscrito en muy poco tiempo. A decir verdad, el ritmo de trabajo resulta pasmoso. El artículo llegó a *Annalen der Physik* el 30 de junio de 1905, sólo quince semanas después del trabajo «revolucionario» sobre los quanta de luz; durante ese período había realizado también la tesis doctoral y el artículo sobre el movimiento browniano, al mismo tiempo que se ganaba la vida trabajando en la oficina de patentes. No es de extrañar que se sintiera agotado cuando hubo terminado el artículo sobre la relatividad.

¿Dónde estoy? ¿Cómo me muevo? Estas preguntas fundamentales están en la raíz de la relatividad y contienen muchas sorpresas. Imaginemos las emociones que podrían provocar estas preguntas en el hombre primitivo, incluso en sus sueños: pesadillas en las que se veía perdido en la selva huyendo aterrorizado de enemigos invisibles; y el alivio de despertarse sano y salvo en su cueva, en casa y tranquilo, con las inquietantes preguntas respondidas.

Pero respondidas con demasiada facilidad. ¿Y qué decir de otros hombres más civilizados, los eclesiásticos, protegidos en sus claustros, convencidos de que la Tierra estaba inmóvil y de que todo lo demás, físico o espiritual, giraba a su alrededor? También ellos tuvieron, durante cierto tiempo, respuestas fáciles. Pero Copérnico, a quien siguieron Kepler y Galileo, predicó la «herejía» de una Tierra en movimiento, y los eclesiásticos se aterrorizaron hasta el punto de recurrir a la represión. Si se hablaba de una Tierra móvil, habría que destronar al Hombre del lugar central que ocupaba dentro de su esquema conceptual. Con el tiempo, la herejía se fue abriendo paso. Y con la madre Tierra convertida en una partícula

itinerante perdida en los confines de un universo enorme, ¿dónde estaba el claustro? ¿Dónde estaba la cueva? ¿Cómo se movían?

El hombre había creído desde hacía tiempo, con Platón y Aristóteles, que los cielos estaban sometidos a reglas muy diferentes de las que regían la Tierra; y tenía razones para hacerlo: ¿no era cierto que mientras la Luna daba vueltas, la manzana caía al suelo?



Una imagen característica de Einstein, concentrado en sus pensamientos. El científico tenía veintitrés años cuando publicó sus primeros y revolucionarios trabajos sobre la relatividad, en 1905.

Las leyes de Newton eran breves y pocas: tres leyes del movimiento y una ley de la gravedad. Al formularlas, Newton tuvo que hablar de reposo y movimiento. Pero ¿reposo y movimiento en relación con qué? Desde luego no con una Tierra lanzada

en el espacio. Newton estaba proponiendo leyes cósmicas, no sólo terrestres, y, gracias a su genio, comprendió que a las leyes del cosmos había que ponerles un marco cósmico.

En relación con el «qué», concibió audazmente un *espacio absoluto* ilimitado y sin rasgos distintivos, inmóvil y nacido de la omnipresencia de Dios. Introdujo también la idea de un *tiempo absoluto*, que fluía uniformemente y que nacería de la duradera existencia de Dios. Con un espacio absoluto inmóvil, podía hablar cósmicamente de reposo absoluto y de movimiento absoluto. Con tiempo absoluto constante, podía hablar de movimiento uniforme o no uniforme. Con ambos, podía hacer frente a las preguntas cósmicas: ¿Dónde estoy? ¿Cómo me muevo?

Si nos paramos a pensar, veremos fácilmente que hay en todo esto una especie de absurdo. ¿Nos parece que un espacio absoluto carente de rasgos especiales es un criterio razonable para determinar la posición y el movimiento? ¿No es cierto que un reloj, por muy irregular que sea, es siempre puntual en relación consigo mismo? ¿Cómo no va a ser uniforme el flujo del tiempo absoluto si él es el único criterio para medir su flujo?

No importa. Los cimientos de la ciencia son siempre confusos. Newton no era un simplón. Sabía perfectamente lo que estaba haciendo. Tenía que empezar por algún lado, y su introducción del espacio y del tiempo absolutos fue la obra de un genio consumado. Es cierto que sus ideas fueron inmediatamente atacadas por críticos tan importantes como el filósofo y obispo irlandés George Berkeley y el filósofo, matemático y diplomático alemán Gottfried Leibniz. Pero como nada tiene más éxito que el éxito mismo, las objeciones iniciales se olvidaron casi por completo. El espacio absoluto y el tiempo absoluto siguieron adelante y adquirieron la categoría de dogma científico. En el siglo XIX, dos siglos después de su introducción, Ernst Mach volvió a criticarlos. Pero se mantuvieron en pie. Newton era un perfecto constructor y el sistema de su mecánica tenía todo lo que necesitaba para ser duradero.

Antes de seguir adelante, y por razones de comodidad, vamos a dar por supuesto que siempre que hablemos del movimiento en cuanto «uniforme» queremos decir

uniforme en línea recta y sin rotación.

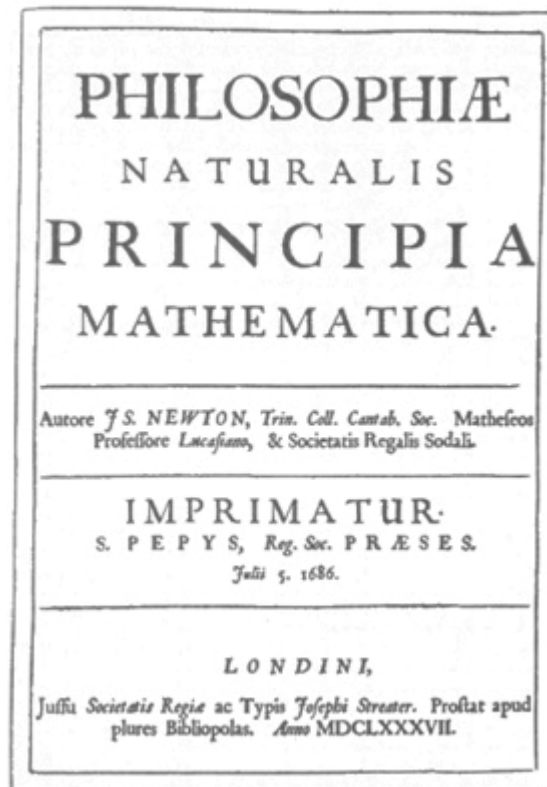
De las numerosas deducciones que Newton extrajo de sus leyes en sus *Principia*, recordamos (teniendo presente lo dicho en el párrafo anterior) la quinta: *Los movimientos relativos de los cuerpos que se encuentran en un [vehículo] dado son los mismos tanto si [el vehículo] está en reposo como si está en movimiento uniforme.*

Lo que se dice aquí, y es algo que está conforme con nuestra experiencia- es que dentro de un vehículo en movimiento *uniforme* no se notan las consecuencias de dicho movimiento.

Alguien podría objetar que, en un vehículo abierto, el paisaje y la velocidad del aire revelarían el movimiento del vehículo aun cuando este movimiento fuera uniforme. Podríamos responderle diciendo que el vehículo debería carecer de ventanas y estar herméticamente cerrado. Pero no vale la pena hacer trampas, y además no es necesario. El paisaje que se mueve y la fuerza del aire sólo nos dicen cómo nos movemos en relación con *ellos*. Newton estaba hablando en el plano cósmico sobre el reposo absoluto y el movimiento uniforme absoluto en relación con un espacio absoluto carente de signos distintivos. Imaginémonos que estamos dentro de un vehículo científicamente equipado y en movimiento absoluto en algún lugar del espacio absoluto. Nuestra misión consiste en responder en sentido absoluto a esta pregunta: ¿Cómo me muevo?

Nuestra primera idea es observar puntos de referencia, como la Luna y Júpiter o las estrellas. Pero, ¿de qué nos serviría? Como la fuerza del aire y el cambio de paisaje en la Tierra, sólo nos pueden decir algo sobre movimientos relativos. Luego, quizá se nos ocurra hacer experimentos mecánicos dentro del vehículo para detectar su movimiento absoluto. Entonces es cuando comenzamos a vislumbrar la importancia de la quinta deducción de Newton.

En ella viene a decirnos que estamos perdiendo el tiempo. Los experimentos están condenados al fracaso. Si buscáramos *desviaciones* del movimiento absoluto y uniforme, podríamos salirnos fácilmente con la nuestra. Pero nuestro movimiento absoluto y uniforme es físicamente indetectable.



Portada de la edición original de los Principia de Newton. En el tercer volumen de esta obra el físico inglés establece cuatro reglas para el razonamiento científico. La primera dice: «No debemos admitir más causas de las cosas naturales que las que sean a la vez verdaderas y suficientes para explicar sus apariencias.» Newton añade el siguiente comentario: «A este respecto, los filósofos dicen que la naturaleza no hace nada en vano, y todo exceso es vano cuando con menos resulta suficiente; a la naturaleza le agrada la sencillez, y no adopta el boato de las causas superfluas.»

Así pues, en la teoría de Newton no había compenetración entre la práctica y la teoría. En la práctica, ni el reposo ni el movimiento *uniforme* podían ser absolutos: las mismas leyes de Newton lo reconocían. Sin embargo, Newton había establecido sus leyes en el espacio y en el tiempo absolutos, que, en principio, lo negaban.

No vamos a detenernos a explicar cómo eludió Newton sus propias leyes para resolver esta dificultad. Cuando Young y Fresnel echaron por tierra su teoría de las

partículas de la luz, se dio un cambio en la situación. Si la luz se propaga en forma de onda, todo el universo visible estaría lleno de algo, llamémoslo *éter*- que transmite las ondas. Quizá parezca que esto no tiene demasiada importancia para nosotros. Pero, como señaló Young, la experimentación óptica hacía pensar que este éter atravesaba libremente la materia. Si exceptuamos las rizadas ondas luminosas, podría considerarse que estaba en reposo absoluto. Así pues, a pesar de la quinta deducción de Newton, que se refería a los dispositivos mecánicos- los experimentos ópticos podían lograr detectar el movimiento uniforme de un vehículo a través del éter, y este movimiento podría considerarse como absoluto.

Los experimentadores se dieron cuenta de ello. Ya desde 1818 realizaron ingeniosos experimentos ópticos para medir el movimiento absoluto de la Tierra: su movimiento en relación con el éter en reposo. Pero los resultados no coincidieron con lo que habían esperado. {Si el lector ha leído ya algo sobre la relatividad, le aconsejamos que no saque todavía ninguna conclusión. En este momento no estamos hablando de lo que él debe de estar pensando.) Los primeros experimentos no revelaron ninguna señal de tal movimiento, ninguna señal de un posible viento de éter.

Fresnel pudo explicar todos estos resultados negativos con una brillante suposición. Dijo que parte del éter quedaba atrapado dentro de la materia, aunque el resto la atravesara libremente. Había en ello una flagrante contradicción: cada diferente color de la luz necesitaría una cantidad distinta de éter retenido, lo cual es absurdo. Pero esto no empaña el brillo de la idea de Fresnel. Más bien al contrario, lo resalta, pues, como se comprobó mucho más tarde, estaba acercándose intuitivamente a algo que encajaba perfectamente dentro de la teoría de la relatividad y que desentonaba en el cuadro newtoniano.

Ahora debemos presentar al distinguido teórico holandés Hendrik Antoon Lorentz, que recibiría el premio Nobel en 1902. En los años finales del siglo XIX perfeccionó de forma considerable la teoría electromagnética de Maxwell y. al mismo tiempo, obtuvo la fórmula de Fresnel, sin su contradicción interna y con el éter totalmente estacionario, exceptuando el caso de las ondas luminosas que lo

atravesaban.

Todo parecería ya resuelto de no haber sido porque, en el último año de su vida. Maxwell había propuesto un nuevo método óptico para medir el movimiento de la Tierra a través del éter. Exigía una sensibilidad tan extraordinaria que llegó a convencerse de que no se podría poner en práctica. Sin embargo, en teoría, hacía pasar a segundo plano la fórmula de Fresnel, según la cual todo método óptico menos sensible estaba condenado al fracaso.

Pero Maxwell había sido demasiado pesimista. No había previsto la habilidad experimental del físico germano-americano Albert Michelson. que recibiría el premio Nobel en 1907. En un intento previo realizado en 1881, aplicando con gran precisión las franjas de interferencias, Michelson demostró la viabilidad del experimento. Y en 1887, junto con su colega el químico E.W. Morley, lo realizó todavía con mayor precisión.

El experimento de Michelson-Morley es demasiado conocido como para que debamos describirlo una vez más. Buscaba la existencia de un efecto del movimiento de la Tierra sobre la velocidad de la luz, medida en la Tierra. Si ésta se mueve a través del éter inmóvil, correrá por el laboratorio una especie de viento de éter. Entonces se proyecta una luz en la dirección de la corriente hacia un espejo y se la hace volver. Los cálculos indican que el tiempo del trayecto será ligeramente superior al de un recorrido semejante en contra de la corriente. Y al medir las diferencias de los tiempos utilizados por la luz en sus recorridos de ida y vuelta en diferentes direcciones, se puede medir la velocidad del viento de éter y por tanto la velocidad de la Tierra a través del éter. El aparato tenía la precisión necesaria para realizar su cometido, pero Michelson tuvo que aceptar su gran decepción: no se habían detectado diferencias en los tiempos. En adelante, consideró el experimento como un fracaso y hasta 1902 siguió pidiendo disculpas siempre que hablaba de él. Considerado como un intento de medir el movimiento absoluto de la Tierra, este experimento fue un auténtico fracaso. Pero este mismo fracaso constituyó su éxito. El resultado negativo del experimento de Michelson- Morley resultó desconcertante para las pocas personas que podían entender lo que allí estaba en juego. Michelson

había supuesto que el resultado negativo significaba que la Tierra transporta consigo su propio éter. Pero, dado que había pruebas experimentales y razones teóricas que demostraban abrumadoramente lo contrario, los teóricos se encontraban ante un grave problema. *Tenía* que haber una corriente de éter. Entonces, ¿por qué no se manifestaba?

El físico irlandés G. F. FitzGerald y, más tarde, Lorentz ofrecieron, independientemente, una explicación: los objetos se contraen en la dirección de su movimiento a través del éter, siendo esta contracción de la magnitud necesaria para anular el efecto del viento de éter en el experimento de Michelson-Morley. Cuanto mayor fuera la velocidad con que se atravesaba el éter, mayor debería ser la contracción. A la velocidad orbital de la Tierra, que es de unos treinta kilómetros por segundo, las longitudes se contraerían sólo una cienmillonésima parte. Pero a la velocidad de la luz, que es de unos 300.000 kilómetros por segundo, las longitudes deberían reducirse a cero.

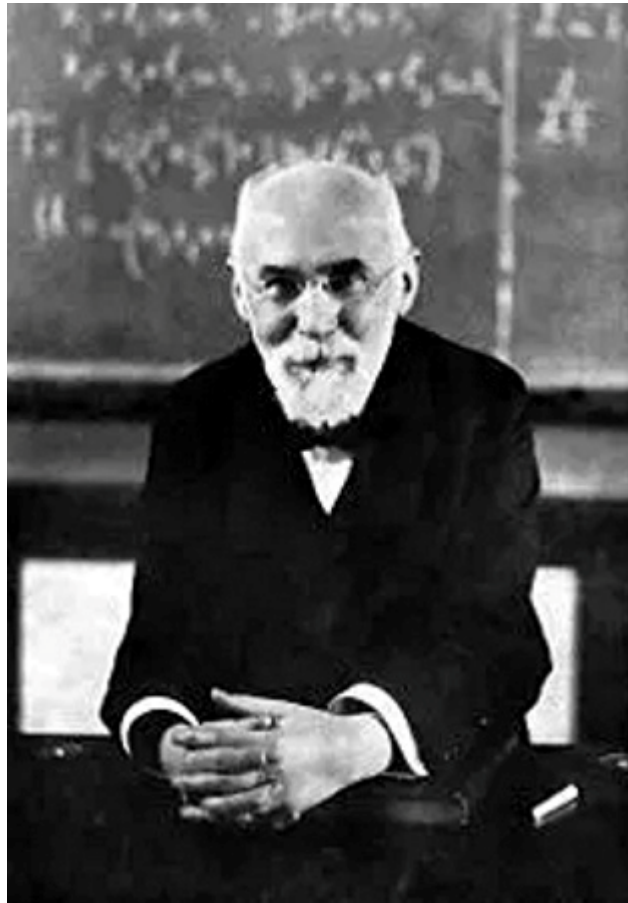
En general, esta suposición *ad hoc* no suscitó demasiado entusiasmo. El gran matemático, teórico, filósofo de la ciencia y divulgador francés Henri Poincaré expresó su disgusto ante aquella situación. Criticó en primer lugar el planteamiento fragmentario: primero Fresnel, con su éter «retenido», que echaba por tierra los resultados nulos de los experimentos anteriores, menos elaborados, y ahora FitzGerald y Lorentz, con su contracción, que echaba por tierra los resultados nulos de los experimentos más convincentes. ¿Qué ocurriría si los experimentadores alcanzaran todavía mayor precisión y encontraran nuevos resultados inesperados? ¿Habría que buscar a toda prisa otras nuevas suposiciones debidamente acomodadas a la nueva situación? Espoleado por las críticas e incitaciones de Poincaré, Lorentz realizó un intento sistemático de reconciliar las ecuaciones de Maxwell con los resultados negativos del experimento de Michelson-Morley y de otros experimentos ya realizados o que pudieran realizarse en el futuro. En 1904, tras ímprobos esfuerzos, había resuelto en lo esencial el problema matemático. No hace falta entrar en detalles y nos limitaremos a decir unas palabras, aunque quizá todo nos parezca un galimatías. El problema estaba en mantener intacta la forma de

las ecuaciones de Maxwell al pasar de un vehículo que se encuentra en reposo en el éter, a otro que se mueve uniformemente en relación con él. Para lograrlo, Lorentz utilizó, entre otras cosas, longitudes contraídas. Pero no consiguió plenamente conservar la forma de las ecuaciones de Maxwell. Se había deslizado un pequeño error.

Mientras tanto, Poincaré había realizado interesantes precisiones. Por ejemplo, en 1895, aproximadamente en la misma época en que Einstein, a sus dieciséis años, se preguntaba qué aspecto tendría una onda luminosa para un observador que pudiera ir a la misma velocidad que ella-, Poincaré habló provisionalmente, y a partir de 1899 con mayor confianza, de lo que en 1904 llamó el *principio de relatividad*. Decía, fundamentalmente, lo que había afirmado la quinta deducción de Newton: que no podemos determinar el reposo absoluto ni el movimiento uniforme. Pero Poincaré, que lo interpretaba teniendo presente la teoría de Maxwell, se dio cuenta, con sorprendente precisión profética, de que era necesario cambiar radicalmente la teoría de Newton. Diseminadas en las obras de Poincaré, encontramos sorprendentes premoniciones de las ideas y resultados de la teoría de la relatividad. En junio de 1905, casi al mismo tiempo que Einstein, Poincaré envió a diversas revistas científicas dos artículos titulados «Sobre la dinámica del electrón», que se basaban en gran parte en un artículo escrito por Lorentz en 1904. El primero no era más que una breve nota que intentaba eliminar el defecto del artículo de Lorentz, y en él aludía a lo que Poincaré desarrollaba con gran detalle matemático en su segundo artículo.

Como es natural, Einstein no sabía nada de los dos artículos de Poincaré, todavía sin publicar cuando escribió el suyo. Tampoco conocía el artículo de Lorentz de 1904. En realidad, el método de Einstein es muy diferente. Además, consiguió la transposición de las ecuaciones de Maxwell sin el menor fallo.

Prácticamente, todas las fórmulas matemáticas básicas del artículo de Einstein de 1905 sobre la relatividad aparecen en el artículo de 1904 de Lorentz y en los dos de Poincaré, ambos fechados en 1905, aunque el más importante no apareció hasta comienzos de 1906.



Hendrick Antoon Lorentz (1853-1928), físico neerlandés.

La presencia de fórmulas casi idénticas era inevitable, pues la relatividad tiene una estrecha conexión matemática con las ecuaciones de Maxwell y con las matemáticas de la propagación ondulatoria. De hecho, la transformación matemática esencial de la relatividad, una fórmula que Poincaré bautizó en 1905 con el nombre de *transformación de Lorentz*- había sido descubierta ya por el físico irlandés Joseph Larmor en 1898, tomando como base las ecuaciones de Maxwell; una transformación casi idéntica había sido descubierta por el físico alemán Waldemar Voigt en un estudio del movimiento ondulatorio realizado ya en 1887, año del experimento de Michelson-Morley.

Por desgracia, tenemos que insistir en todo esto, pues las semejanzas matemáticas han llevado a algunas personas a creer erróneamente que la aportación de Einstein

fue sólo marginal, cosa que no es verdad. Pero, para ser justos, hemos de añadir que en las obras escritas por Poincaré se encuentran muchas ideas que, vistas retrospectivamente, hacen que nos preguntemos por qué no llegó a dar el paso decisivo que llevaba a la teoría de la relatividad, cuando se encontraba tan cerca.

Tras estos largos preliminares, estamos ya preparados para enfrentarnos con el trabajo de Einstein de 1905 en el que estudiaba la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. Si prestamos atención, la recompensa será grande, aunque también el esfuerzo.

Impresionado por la fuerza irresistible de las leyes de la termodinámica que afirman la imposibilidad de que haya máquinas dotadas de movimiento perpetuo, Einstein buscó un principio de imposibilidad comparable. Pero la verdadera clave de la teoría de la relatividad se le presentó de forma inesperada, tras varios años de desconcierto. El hecho se produjo una mañana al despertarse y levantarse de la cama. De repente, las piezas de un gigantesco rompecabezas parecieron encajar con una facilidad y naturalidad que le llenaron de confianza. Pero también tenía confianza en su trabajo, todavía más especulativo, sobre los cuanta de luz, con sus imprevistas piezas de lo que parecía ser un complicado rompecabezas extraño y contradictorio.

Einstein debió de darse cuenta de que estaba escribiendo para la posteridad. Pero, como se aprecia en las ilustraciones (páginas 74-75), debió de hacer sus cálculos en hojas de papel de distinta procedencia. Suponemos que, al entregarlos a *Annalen der Physik*, se esmeraría en la presentación, pero, una vez publicados, se deshizo de los manuscritos, quizá tras utilizarlos como borradores para nuevos cálculos. Es decir, que los originales no existen. Así era Einstein.

Pero pasemos ya al contenido de su artículo de 1905 sobre lo que recibió el nombre de teoría especial de la relatividad. Señalemos, en primer lugar, que Einstein no menciona para nada el experimento de Michelson- Morley. Parece que no le hizo mucha falta utilizarlo en su argumentación. Además, pasa por alto la afirmación, hecha en su trabajo de sólo unas semanas antes, de que la luz debe estar formada, de alguna manera, por cuanta.

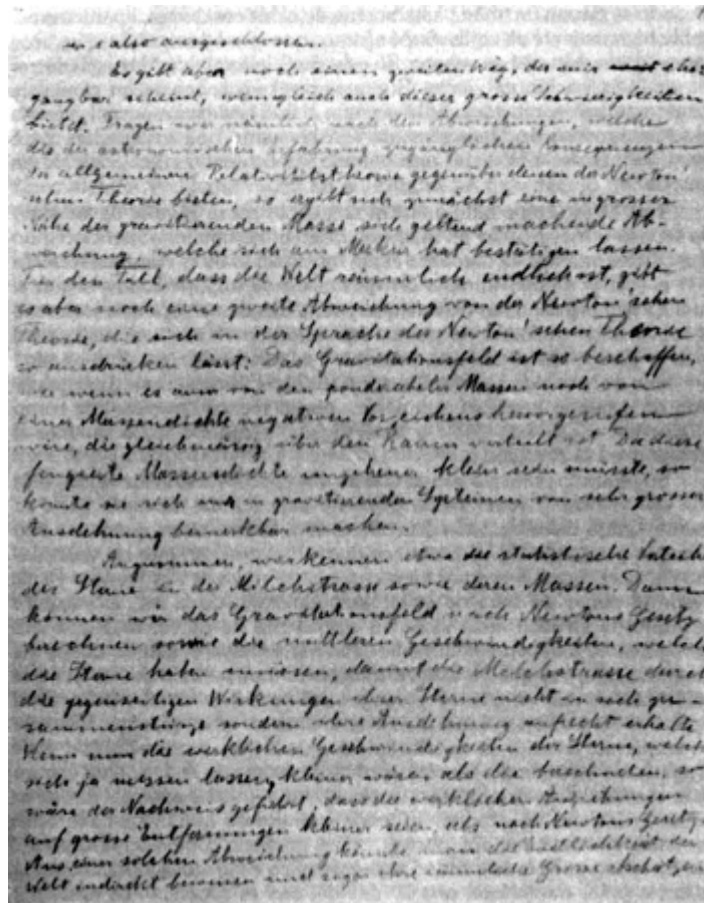
Al igual que en dicho artículo, comienza señalando un conflicto que llega hasta el fondo del problema: la teoría de Maxwell establece distinciones injustificadas entre reposo y movimiento. Einstein pone un ejemplo.

Cuando se cruzan un imán y una bobina de cable conductor, aparece en el cable una corriente eléctrica. Supongamos que entendemos que el imán se mueve y el cable está en reposo. En este caso, la teoría de Maxwell ofrecería una explicación excelente. Supongamos que hacemos un cambio y pensamos que se mueve la bobina y que el imán está en reposo. La teoría electromagnética de Maxwell sigue constituyendo una explicación, pero muy distinta de la primera, aun cuando las corrientes calculadas fueran iguales.

Tras haber despertado nuestras sospechas sobre el valor de las ideas de reposo y movimiento en Maxwell. Einstein las confirma mencionando «los fallidos intentos de descubrir algún movimiento de la Tierra en relación con el [éter]». Luego formula un «postulado de imposibilidad», según el cual no hay experimento posible que pueda detectar el reposo absoluto ni el movimiento uniforme: la quinta deducción de Newton es válida para toda la física. A la vista de las pruebas, este postulado, que él denomina *principio de relatividad*, es totalmente plausible. Einstein añade a continuación un segundo principio que parece por lo menos tan plausible como el anterior; y con esta doble y hábil jugada, prepara adecuadamente el terreno para la revolución.

Su segundo principio afirma que en un espacio vacío la luz se desplaza con una velocidad determinada c que no depende del movimiento de su fuente. Quizá nos sorprenda esta afirmación. Si pensamos que la luz está formada por partículas, deberíamos decir, lógicamente, que las velocidades de éstas dependen de la forma en que se muevan sus fuentes. Pero, desde el punto de vista de la teoría ondulatoria de la luz, el segundo principio de Einstein tiene todas las apariencias de no ser más que una perogrullada. Independientemente de cómo se haya originado una onda luminosa, una vez que ya está en marcha es transportada por el éter a la velocidad normal en que se propagan las ondas en dicho medio. Si el asunto es tan obvio, ¿por qué lo convierte Einstein en un principio? Porque en un párrafo anterior de su

artículo dice que la introducción del éter sería «superflua». Su segundo principio, por tanto, extrae de la noción de éter un dato esencial. Con ello, Einstein demuestra una singular audacia. Inmediatamente después de exponer su teoría cuántica de que la luz debe estar formada, en cierta manera, por partículas, propone como segundo principio de su teoría de la relatividad algo específico de la teoría ondulatoria de la luz, a pesar de declarar que la idea del éter es superflua. Es toda una demostración de la seguridad de su intuición física.



Manuscrito de la conferencia sobre «Geometría y experiencia», pronunciada por Einstein en 1921.

Así pues, tenemos dos principios elementales; ambos parecen plausibles, inocentes y de una evidencia que linda con la trivialidad. ¿Dónde está el peligro? ¿Dónde se oculta la amenaza de revolución?

En su artículo, Einstein dice de ellos que son «irreconciliables sólo en apariencia». ¿Irreconciliables? ¿Dónde está el conflicto? ¿Irreconciliables sólo *en apariencia*? ¿En qué puede estar pensando?

Bilanz per 31. Dezember 1919.
er gibt folgendes Bild:

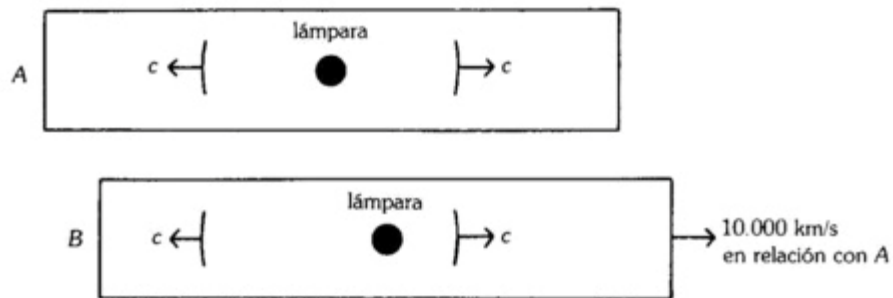
Passiva:		
Vereinsvermögen v. 32 ausserordentlichen Mitgliedern (ban)		M 218.000.-
<u>Einnahmen:</u>		
Beiträge der ordentlichen Mitgl.	M 18.000.-	
Sinn.stiftungen, Förderern	* 47.88.-	
* Effekten-Bankzinsen	* 2.910.88	
	M 29.858.88	
<u>Ausgaben</u>		
<u>Unkosten-Center:</u>		
Bankzinsen	M 88.50	
Bürospesen f. 1919	M 859.75	
* f. 1920 * 150.-	* 1049.75	
Sonstige Ausgaben, Postl.	act. 172.85	
Geh. R i t e r		
f. 1919 M 18.719.85		
f. 1920 * 2.541.88	10880.90	
Reise-Unkosten	801.88 M 90.161.88	* 49.374.-
		<u>Mk. 268.374.-</u>
incl. sämtlicher für die nächsten 10 Jahre in voraus gezahlte Mitgliederbeiträge.		
A k t i v a .		
Guthaben bei der Nationalbank f. Deutschland, Berlin,		Mk. 268.374.-
<u>Effektenbestand</u>		
M 136.000.-	7% Deutsche Reichsanleihe	J J
* 60.000.-	4% dgl.	J J
* 10.000.-	4% Dt. Reichsschatzanwag.	J J
Re. 18.000.-	Kerenski-Noten	
* 31.000.-	Duma	
In diesen Zahlen sind bereits für 1920 gezahlte Gehälter M 2.541.88 und M 150.- für Bürospesen enthalten.		

Reverso de la página que aparece en la imagen anterior.

Vamos a fijarnos más atentamente. Valdrá la pena. Antes, unas palabras de advertencia. Al seguir la línea argumental de Einstein, es fácil que comencemos asintiendo con la cabeza para luego, poco a poco, comenzar a dar cabezadas, medio dormidos: nos puede parecer que todo es evidente y sin importancia. Llegará un momento en que a duras penas lograremos dominar los bostezos. ¡Cuidado! Para entonces nos habremos comprometido muy seriamente y será demasiado tarde para evitar la conmoción, pues la belleza de la argumentación de Einstein reside precisamente en su aparente inocencia.

Pensemos en dos vehículos semejantes y bien equipados, con un movimiento uniforme, tal como se indica en el diagrama, e imaginemos que están en algún punto remoto del espacio, de tal manera que no se vean afectados por las influencias externas.

Los vehículos, llamados *A* y *B* en honor de sus capitanes respectivos, tienen un movimiento relativo uniforme de, por ejemplo, 10.000 kilómetros por segundo, como se indica en la figura. En el centro de cada vehículo hay una lámpara. Cuando *A* y *B* estén frente a frente, encenderán sus lámparas un instante, enviando así señales luminosas hacia la izquierda y hacia la derecha. En el diagrama se ven estas señales y los vehículos un momento después. Por razones de comodidad, los hemos dibujado como si *A* estuviera «en reposo».



Ahora debemos sentar las bases para hacer una pregunta. De acuerdo con el segundo principio de Einstein, las velocidades de las señales luminosas no dependen de los movimientos de sus fuentes. Por eso, y esto es muy importante, las vibraciones luminosas se mantienen frente a frente, como se indica en la figura. Dentro de su vehículo. *A* mide sus velocidades a la izquierda y a la derecha y obtiene el valor *c* en ambos casos. *B* realiza las medidas correspondientes dentro de su propio vehículo. Se mueve a 10.000 kilómetros por segundo con relación a *A*, mientras que sus señales luminosas se mantienen al mismo ritmo que las de *A*. ¿Conforme? Pues bien, la pregunta es ésta: ¿Qué valores obtendrá *B* para las velocidades de las señales luminosas con relación a sí mismo?

Dado su movimiento con relación a *A*, cabe esperar que *B* compruebe que su señal

luminosa hacia la izquierda se desplaza, con relación a sí mismo, a una velocidad de $c + 10.000$, mientras que la otra lo hace a una velocidad muy diferente, a $c - 10.000$.

Pero, en ese caso, entraríamos en colisión con el primer postulado de Einstein. ¿Por qué? Porque A y B están realizando experimentos internos idénticos dentro de sus respectivos vehículos y, como están en movimiento uniforme, deben obtener resultados idénticos. Por consiguiente B, igual que A, debe comprobar que las velocidades son en ambos casos c . De hecho, por mucha que sea la velocidad con que B pueda desplazarse con relación a A para tratar de alcanzar la luz que retrocede, siempre se alejará de él a la misma velocidad c . No puede alcanzar la luz que retrocede, de la misma manera que no se puede alcanzar el horizonte en la Tierra. Ningún objeto material puede viajar a la velocidad de la luz. En este resultado sorprendente tenemos una respuesta inesperada a la pregunta que se formulaba Einstein a los dieciséis años sobre la posibilidad de avanzar a la misma velocidad que las ondas luminosas.

Ante un resultado tan inesperado, conviene mirar las cosas desde otro ángulo, aunque no sea más que para convencernos de que es consecuencia necesaria de los dos principios de Einstein. Supongamos que A comprobara que la velocidad en ambas direcciones era c , mientras que B comprobaba que era $c + 10.000$ en una dirección y $c - 10.000$ en la otra. Entonces, A podría concluir con todo derecho que se desplazaba a una velocidad absoluta de 10.000 kilómetros por segundo, lo cual estaría en contradicción con el principio de la relatividad.

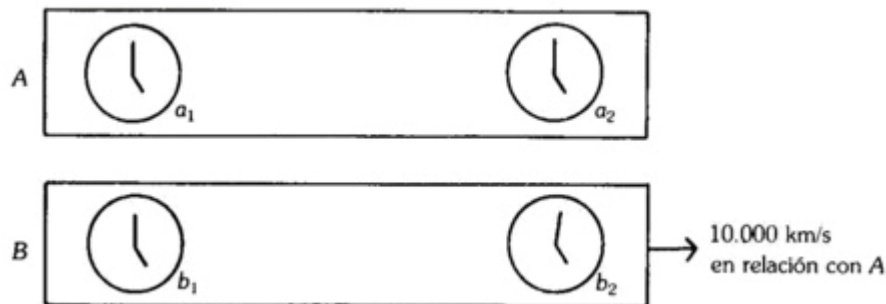
Ante una consecuencia tan catastrófica de dos principios aparentemente inofensivos cualquiera habría optado por abandonar uno u otro. Pero Einstein había elegido estos dos principios precisamente porque iban hasta el fondo del problema, y los mantuvo con decisión. Su misma plausibilidad, considerados por separado- era la base firme en que se asentaba su teoría. En terrenos tan peligrosos, no podía permitirse el lujo de edificar sobre arenas movedizas.

Ya hemos visto por qué utilizó Einstein la palabra «irreconciliables». Sin embargo, también afirmaba que sus dos principios eran irreconciliables sólo «en apariencia»,

y eso significaba que, a pesar de todo, iba a reconciliarlos. Pero, ¿cómo?

Entramos aquí en la fase crucial de la argumentación. Como es de suponer, el remedio tenía que ser más bien drástico. Lo que vislumbró Einstein al incorporarse de la cama aquella mañana histórica fue que tendría que renunciar a una de nuestras ideas más queridas sobre el tiempo.

Para entender su revolucionaria concepción del tiempo, volvamos a los vehículos *A* y *B* y confiemos a sus capitanes una nueva tarea. Tal como se indica en la figura, se colocan en los dos vehículos cuatro relojes de gran precisión: a_1 , a_2 , b_1 y b_2 . Para mayor comodidad, supongamos que los vehículos tienen varios millones de kilómetros de longitud. Así podremos hablar de minutos en vez de milmillonésimas de segundo.

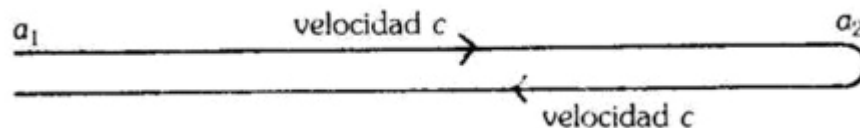


A envía un destello luminoso de a_1 a a_2 , de donde vuelve inmediatamente a a_1 . La luz sale de a_1 cuando las agujas de a_1 marcan el mediodía, y llega a a_2 cuando sus agujas marcan las doce y tres minutos. Esto no nos da la seguridad de que la luz haya tardado tres minutos en desplazarse de a_1 a a_2 : por ejemplo, los operarios que instalaron los relojes han podido mover las agujas sin darse cuenta. ¿Cómo podemos sincronizar a_2 con a_1 ? Reflexionemos sobre el doble recorrido. Supongamos que la luz sale de a_1 cuando las manecillas de marcan el mediodía, llega a a_2 cuando sus manecillas marcan las doce y tres minutos, y vuelve a a_1 cuando las agujas de a_1 marcan las doce y cuatro minutos. Sospechamos inmediatamente que algo marcha mal. Los relojes darían a entender que la luz había tardado tres minutos en ir de a_1 a a_2 y sólo un minuto en volver de a_2 a a_1

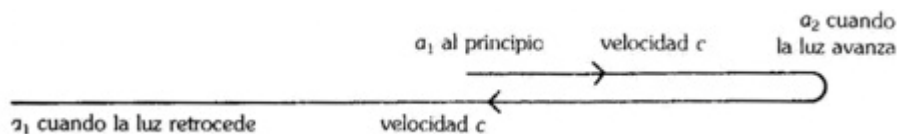
Solución lógica: retrasamos un minuto el minuterero de a_2 . Ahora, al realizar el experimento, los relojes indicarán que la luz ha tardado dos minutos en ir de a_1 a a_2 y otros dos minutos en volver de a_2 a a_1 . Como lo que queremos es que la velocidad de la luz sea c en ambas direcciones, estaríamos de acuerdo con Einstein en que las agujas de los relojes a_1 y a_2 se encuentran ahora de tal manera que los relojes están sincronizados. Y si un poco más tarde, ocurre algo en a_1 cuando las agujas marcan las 4:30 y en a_2 ocurre otra cosa cuando las agujas de a_2 marcan también las 4:30 estaríamos de acuerdo con Einstein en que los dos hechos independientes habían ocurrido simultáneamente.

Quizá todo esto nos parezca insustancial, tan evidente, que nos cuesta reprimir el bostezo de que hablábamos antes. Pero, como ya hemos señalado, la belleza de la argumentación de Einstein radica en que se basa en conceptos que nos engañan con su apariencia inofensiva. Mientras contenemos por cortesía un bostezo de aburrimiento, sin darnos cuenta, nos vemos obligados a aceptar una consecuencia insospechada y pasmosa.

Mientras A sincroniza sus relojes a_1 y a_2 en la forma antes indicada por Einstein, B le observa perplejo. Con relación a B , A se desplaza hacia la izquierda a una velocidad de 10.000 kilómetros por segundo. Así, aunque A diga que su luz recorre la misma distancia en ambos recorridos, como se observa en el diagrama siguiente:

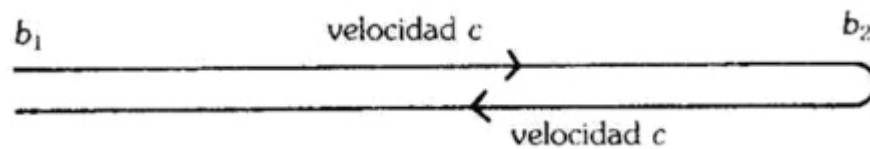


B ve las distancias muy desiguales:

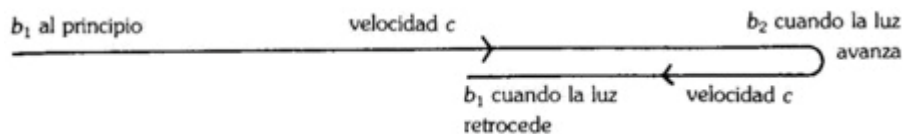


¿Qué debe pensar B ? ¿Qué es lo que tiene que concluir? Que, dado que las distancias de ida y vuelta son *desiguales*, el simple hecho de que el avance y retroceso de la luz tarden lo mismo según a_1 y a_2 demuestra a B que los relojes a_1 y a_2 no están sincronizados.

Naturalmente, cuando B informa a A de lo ocurrido, A se queda preocupado. Entonces pide a B que sincronice los relojes b_1 y b_2 según el procedimiento adoptado por Einstein. Así lo hace B , con lo que A puede tomarse la revancha. Con relación a A , B se mueve hacia la derecha a 10.000 kilómetros por hora, y aunque B afirme que su luz recorre la misma distancia en uno y otro sentido



A ve una clara desigualdad entre las distancias



Entonces A dice que los relojes a_1 y a_2 están sincronizados y B dice que no. B dice que los relojes b_1 y b_2 están sincronizados, y A dice que no. Si A dice que dos hechos que ocurren en a_1 y en a_2 son simultáneos, B lo negará. Y viceversa.

¿Nos inclinamos a favor de A o de B ? El primer postulado de Einstein, el principio de relatividad, sitúa a A y B en condiciones de igualdad. Así pues, debemos concluir con Einstein que los dos tienen razón.

El genio de Einstein nos sorprende ahora con un golpe maestro. Considera esta divergencia de puntos de vista no como una pelea intrascendente, sino como un rasgo característico del tiempo. Ante nuestros ojos se desploma la concepción newtoniana, basada en el sentido común, de un tiempo universal que permitiría una

simultaneidad universal. El tiempo, según Einstein, es de tal naturaleza que la simultaneidad de los hechos independientes es relativa. Los hechos simultáneos para A no son, por lo general, simultáneos para B ; y los hechos simultáneos para B no son, en general, simultáneos para A . Por mucho que nos sorprenda, debemos aceptarlo. Y aceptar nuevos golpes, pues el tiempo es una realidad fundamental, y un cambio drástico en su concepción echa por tierra, como si de un castillo de naipes se tratara, toda la estructura de la física teórica. No se salva prácticamente nada.

Tomemos como ejemplo la longitud, otro aspecto fundamental de la física teórica. Imaginemos una barra en movimiento, que pasa por delante de A y B . Para medir su longitud mientras pasa, A anota las posiciones de sus extremos en un instante determinado; es decir, simultáneamente. B hace lo mismo. Pero como A y B no están de acuerdo en la simultaneidad, A dirá que B observó las posiciones de los dos extremos en momentos diferentes y por tanto no midió la verdadera longitud. B dirá lo mismo sobre A . Y en general, A y B obtendrán valores diferentes para la longitud medida de esa manera. De donde se deduce que, como la simultaneidad es relativa, la distancia también lo es. Y no hay forma de detener el contagio. La velocidad, la aceleración, la fuerza, la energía... y otras muchas nociones dependen del tiempo y de la distancia: cambia la estructura misma de la física.

¿Qué ocurre con la relación entre las mediciones del tiempo y del espacio efectuadas por A y las efectuadas por B , o por dos observadores cualesquiera situados en vehículos que se encuentren en movimiento relativo uniforme? Como era de esperar en él, Einstein buscó la relación matemática más sencilla que se podía deducir de sus dos principios. De esta manera, extrajo de ellos nada menos que la transformación de Lorentz, transformación de la que, casi con toda seguridad, no había tenido conocimiento anteriormente.

Utilizando esta transformación, hizo nuevas deducciones. Sus dos principios podían parecer inofensivos en un primer momento, pero sus consecuencias lógicas van con frecuencia contra el sentido común. Por ejemplo, como demostró Einstein, A comprueba que los relojes de B se atrasan en relación con los suyos. Después de

recuperamos de nuestra sorpresa, ¿no eran los dos relojes igualmente fiables?, esperamos que *B* compruebe que los relojes de *A* se adelantan en comparación con los suyos. Pero no es así. Tanto *A* como *B* descubren que los relojes del otro se retrasan.

Recordemos de nuevo la afirmación de FitzGerald y Lorentz de que los objetos se contraen en la dirección de su movimiento a través del éter. Einstein obtuvo una fórmula idéntica para la dimensión de tal contracción. Pero en la teoría de Einstein es un efecto recíproco y relativo: *A* comprueba que las medidas longitudinales de *B* se contraen en comparación con las suyas, mientras que *B* descubre que las de *A* son más cortas que las suyas. Nada podría revelar más llamativamente la revolucionaria audacia de las ideas de Einstein, en comparación con las de sus antecesores Lorentz y Poincaré. Los tres admitían la transformación de Lorentz, en la que había implícitas consecuencias asombrosas. Pero, al interpretarla, ni Lorentz ni Poincaré se atrevieron a confiar plenamente en el principio de relatividad. Si *A* está en reposo, las unidades de longitud de *B* se contraerían. Pero en la explicación de estos dos científicos no se decía nada de que *B* observara la misma contracción en *A*. Tácitamente, se suponía que *B* comprobaría que las de *A* eran más largas. En cuanto a la marcha de los relojes, no dijeron nada parecido a las explicaciones de Einstein.

Poincaré, uno de los mayores matemáticos de su época, fue un hombre de aguda intuición filosófica. En su importante artículo de 1905 demostraba un dominio extraordinario del aparato matemático de la teoría de la relatividad. Llevaba muchos años insistiendo en la naturaleza puramente convencional de los conceptos físicos. Había percibido muy pronto la probable validez de un principio de relatividad. Sin embargo, cuando llegaba el momento de dar el paso decisivo, le faltaba el valor y se aferraba a los hábitos tradicionales de pensamiento y a las ideas consagradas sobre el espacio y el tiempo. Aunque el hecho nos causa extrañeza, se debe a que quizá no valoremos lo suficiente la audacia de Einstein al presentar el principio de relatividad como un axioma y, conservando la fe en él, al cambiar nuestras concepciones del tiempo y el espacio.

Al realizar este cambio revolucionario, Einstein se dejó influenciar en gran parte por las ideas de Mach, cuyo libro de crítica a la mecánica newtoniana había leído en sus días de estudiante, gracias a Besso. Mach aparecerá más adelante en nuestro relato, aunque el inicial entusiasmo de Einstein hacia sus ideas filosóficas no duró mucho tiempo. Mach había manifestado un profundo escepticismo ante conceptos como los de espacio absoluto y tiempo absoluto, y ante los átomos.



Einstein y Besso, en una reunión celebrada en Zurich.

En términos generales, veía en la ciencia una especie de catálogo ordenado de datos y quería que todos los conceptos se pudieran definir claramente mediante procedimientos específicos. El tratamiento de la simultaneidad desde el punto de vista de unos procedimientos específicos de sincronización demuestra claramente la influencia de Mach en Einstein. Pero otros, Poincaré entre ellos- conocían también las ideas de Mach, y sin embargo fue Einstein quien dio el paso decisivo.

Las contracciones mutuas de las longitudes, como el retraso mutuo de los relojes,

no se contradicen a sí mismos. Son muy semejantes a los efectos de la perspectiva. Por ejemplo, si dos personas de la misma altura se alejan, se detienen y se vuelven para mirarse, cada una pensará que la otra ha disminuido de tamaño; la razón por la que esta contracción mutua no nos parece una contradicción es sencillamente porque nos hemos acostumbrado a ella.

Hemos dicho sólo lo más elemental para ofrecer una pista de la naturaleza revolucionaria del artículo de 1905 sobre la relatividad. Una vez puestos los cimientos, el artículo se centra sobre todo en las matemáticas. Einstein demuestra cómo, con las nuevas ideas del tiempo y del espacio, las ecuaciones de Maxwell son conformes al principio de la relatividad, aun cuando estas ideas exijan una revisión de la mecánica newtoniana. Por ejemplo, cuanto mayor sea la velocidad con que se mueve un objeto en relación con un experimentador, mayor será su masa con relación a él. Como es habitual, Einstein llega a hacer una predicción que se puede comprobar experimentalmente. Presenta fórmulas sobre el movimiento de los electrones en un campo electromagnético, teniendo en cuenta los aumentos relativistas de sus masas al aumentar sus velocidades con relación al observador. Siguiendo un camino distinto, Lorentz había hecho una predicción esencialmente idéntica en 1904, y la había comparado favorablemente con los resultados ya obtenidos por un experimentador. No debemos sorprendernos por la equivalencia de las fórmulas, ya que, como hemos dicho, Lorentz y Einstein tenían antecedentes maxwellianos comunes. Pero entre estos dos hombres hay una diferencia que conviene señalar. En 1906, el mismo experimentador, al publicar sus nuevas mediciones, las declaraba categóricamente incompatibles con la predicción de Lorentz y Einstein, y compatibles con algunas teorías rivales. Lorentz se desanimó, mientras que Einstein siguió impertérrito. Este contemplaba las teorías opuestas con cierta desaprobación estética, y sugirió la posibilidad de que el experimentador se hubiera equivocado. Posteriores mediciones realizadas por otros científicos demostraron que Einstein tenía razón.

No podemos cerrar estas páginas en tomo al artículo de 1905 sobre la relatividad sin citar sus palabras finales; «En conclusión, quiero decir que, mientras he

trabajado en el problema aquí tratado, he contado con la fiel colaboración de mi amigo y colega M. Besso, y que estoy en deuda con él por las sugerencias tan valiosas que me ha hecho.»

Ya hemos mencionado los cuatro artículos que Einstein ofreció a Habicht a cambio de la tesis de éste. Las copias del famoso volumen 17 de *Annalen der Physik*, que contienen los tres artículos principales de los cuatro citados, son ahora verdaderas joyas, guardadas muchas veces con doble llave por los bibliotecarios que tienen la suerte de custodiarlos. Tal profusión de genio en un periodo tan corto, tres temas diferentes, transformados por el toque de la magia- hace de 1905 un año memorable.

Pero no podemos cerrar aquí este capítulo. Para Einstein no había terminado el año 1905. A finales de septiembre, tres meses después del artículo sobre la relatividad, envió a *Annalen der Physik* otro artículo que se publicó en noviembre. Sólo ocupa tres páginas. Utilizando ecuaciones electromagnéticas tomadas de su trabajo anterior, Einstein demuestra mediante cálculos que si un cuerpo libera una cantidad E de energía en forma de luz³, su masa disminuye la cantidad E/c^2 .

Con su sentido innato de la unidad cósmica, Einstein realiza ahora una observación penetrante y de importancia fundamental: el hecho de que la energía esté en forma de luz «no supone, evidentemente, ninguna diferencia.» Luego, enuncia una ley general en el sentido de que si un cuerpo libera o recibe una cantidad \mathcal{E} de energía de *cualquier clase*, pierde o gana una cantidad de masa E/c^2 .

Según esta fórmula, dada la inmensidad de c , si una bombilla eléctrica emitiera 100 vatios de luz durante cien años, despediría en ese tiempo una energía cuya masa total sería menos de la centésima parte de un miligramo. Pero el radio, por su radiactividad, desprende cantidades de energía relativamente elevadas, y Einstein insinuó la posibilidad de comprobar su teoría a través del mismo.

En este artículo de 1905, Einstein decía que toda la energía, de cualquier clase que sea, tiene masa. Hasta un hombre como él tardó otros dos años en llegar a la

³ Utiliza la letra L para esta energía en forma de luz. Y, como en el artículo anterior, utiliza V , no c , para indicar la velocidad de la luz. Los símbolos del texto serán más conocidos para el lector.

formidable conclusión de que lo recíproco tenía que ser también cierto: que toda masa, de cualquier clase, debe tener energía. Lo que le impulsó a ello fueron razones estéticas. ¿Por qué establecer una distinción tan clara entre la masa que tiene ya un objeto y la masa que pierde al despedir energía? Eso equivale a imaginar dos tipos de masa, sin ninguna razón seria, cuando con una podría bastar. La distinción iba contra todo sentido artístico y no tenía defensa lógica posible. Por consiguiente, toda masa debe tener energía.

Tras establecer esta equivalencia entre masa y energía, Einstein, en un artículo largo y de carácter principalmente expositivo, publicado en 1907 en el *Jahrbuch der Radioaktivität*, pudo escribir su famosa ecuación $E = mc^2$. Imaginemos la audacia de este paso: cada grano de tierra, cada pluma, cada mota de polvo se convertía en un prodigioso depósito de energía. En aquella época no había forma de verificarlo. Sin embargo, al presentar su ecuación en 1907, Einstein la consideraba como la consecuencia más importante de su teoría de la relatividad. Su prodigiosa capacidad de adelantarse a los acontecimientos se demuestra en el hecho de que su ecuación no llegó a verificarse cuantitativamente hasta unos veinticinco años más tarde, y entonces sólo pudo hacerse mediante complicados experimentos de laboratorio. Lo que no pudo prever fueron los trágicos acontecimientos que tendrían como raíz aquella fórmula de inspiración artística. $E = mc^2$.

En los tres últimos capítulos hemos hablado del florecimiento del genio de Einstein en el fabuloso año 1905. El 1 de abril de 1906, en la oficina de patentes de Berna, fue ascendido a la categoría de ingeniero técnico de segunda clase.

Capítulo 7

De Berna a Berlín

Hay casos en los que una revolución consigue adeptos con rapidez. El artículo de Einstein sobre la relatividad, recibido por *Annalen der Physik* a finales de junio de 1905, se publicó el 26 de septiembre. Ya a comienzos de noviembre de 1905 un científico de gran talla expresó su opinión favorable. Es más, en su autobiografía escribió que el artículo de Einstein le había producido desde el primer momento una reacción entusiasta.

¿Quién fue este científico? ¿Poincaré? No. Entonces, claro está, tuvo que ser Lorentz.

Tampoco fue él. Se trataba de Planck, un hombre que compartía la aversión general hacia la idea de los quanta de luz. Expuso su opinión favorable en el Coloquio de Física de Berlín. Pero eso no fue todo. Inmediatamente comenzó a desarrollar la teoría, publicando en 1906 y en 1907 varios trabajos sobre la relatividad, en los que hacía referencia a Einstein y manifestaba su aprobación. Además, utilizó su gran influencia para convencer a otros científicos de que estudiaran las nuevas ideas. Mantuvo estrecho contacto con Einstein a través de una intensa correspondencia científica en la que le trataba de igual a igual. He aquí, como ejemplo, algunos fragmentos de una larga carta que Planck escribió a Einstein el 6 de julio de 1907:

«Mr. Bucherer, cuyos experimentos confirmaban claramente la relatividad, me ha escrito manifestando su total oposición a mi última investigación sobre la relatividad... Por eso me resulta mucho más consolador saber que... de momento usted no es de su misma opinión. Mientras los partidarios del principio de relatividad sean un grupo reducido, como en la actualidad, es muy importante que estén de acuerdo entre sí... Es probable que el año próximo vaya al Oberland de Berna. Todavía falta mucho tiempo, pero me alegra pensar que quizá tenga entonces el placer de conocerle personalmente.»

Lorentz no se encontraba demasiado a gusto con las ideas revolucionarias de Einstein sobre el tiempo y el espacio: cuando, años más tarde, las alababa, le resultaba imposible ocultar su pesar por la pérdida del éter inmóvil. En cuanto a Poincaré, es difícil saber si llegó a darse perfectamente cuenta de la naturaleza revolucionaria de los conceptos relativistas de Einstein. Cuando escribe sobre la relatividad, Poincaré no menciona prácticamente nunca a Einstein, y Einstein, por su parte, tampoco menciona casi nunca a Poincaré, aunque los dos tuvieron muchas oportunidades de hacerlo.



Max von Laue (1879-1960), físico alemán. En 1914 recibió el premio Nobel por su descubrimiento de la refracción de los rayos X.

El ayudante de Planck, Max von Laue, escribió a Einstein solicitando verle en Berna en el verano de 1906. Aunque las informaciones son escasas, parece que Von

Laue había dado por descontado que Einstein estaba en la Universidad de Berna. Desde luego, Von Laue se quedó sorprendido al descubrir que el hombre que había concebido aquellas ideas sobre el tiempo y el espacio, que tanto habían impresionado a Planck, era el empleado de aspecto inofensivo y en mangas de camisa a quien casi ni se detuvo a mirar cuando fue a buscar a Einstein a la oficina de patentes. Su entrevista fue el principio de una larga amistad. Von Laue, que conseguiría más adelante el premio Nobel, fue el primero en escribir un importante libro técnico sobre la relatividad. Apareció en 1911.

Mientras tanto, sin esperar a que se produjera la aceptación generalizada de su obra, Einstein siguió realizando trabajos de investigación, en los que desarrollaba sus ideas sobre los quanta, el movimiento browniano y la relatividad. En realidad, hemos abreviado el increíble año de 1905, pues en diciembre del mismo Einstein envió a *Annalen der Physik* un segundo artículo sobre el movimiento browniano; apareció en 1906. En 1907, como ya sabemos, completó la formulación de la equivalencia entre masa y energía resumida en la decisiva fórmula $E = mc^2$. Lo que no hemos dicho todavía es que en este mismo artículo daba el primer paso en el camino que debía llevarle, algunos años después, de la teoría restringida a la teoría general de la relatividad, una de las obras maestras de la ciencia. Sólo por esto, 1907 sería ya un año memorable. Pero hubo más. Por ejemplo, Einstein encontró un nuevo e importante aliado en el matemático ruso-germano Hermann Minkowski, catedrático de la famosa Universidad de Gotinga, en Alemania. En diciembre de 1907, Minkowski expuso en ella una importante aportación a la teoría de la relatividad.

De los detalles de estos avances realizados por Einstein y Minkowski en 1907 hablaremos más tarde, situándolos en un contexto lógico más que cronológico. Mientras tanto, podemos recordar que Minkowski había sido profesor de matemáticas en el Politécnico de Zurich cuando Einstein estudió allí, que Einstein había asistido a sus clases de forma muy irregular y que en aquellas fechas Minkowski tenía a Einstein por un «holgazán».

No todos los comentarios sobre la relatividad fueron entusiastas. Incluso los físicos

que la aceptaban tenían problemas para captar las nuevas ideas del tiempo y del espacio. Al correrse la voz de lo que había propuesto Einstein, muchas personas, físicos, filósofos y profanos, condenaron sus ideas amargamente. Pero lo importante fue que muchos científicos de talla comenzaron a aceptarlas en número creciente.

Aunque comenzaba a disfrutar de cierta fama entre los científicos, Einstein seguía en Berna y desde hacía tiempo había empezado a acusar la fatiga de su intensa actividad de investigación unida a su jornada de ocho horas en la oficina de patentes. A finales de 1907, algunas circunstancias favorables le llevaron a pensar de nuevo en hacerse *Privatdozent*, con lo cual podría aspirar un día a conseguir una cátedra. Como el primer paso era presentar una tesis, envió a la Universidad de Berna su artículo de 1905 sobre la relatividad.

Fue rechazado, entre otras razones, porque decían que resultaba incomprendible.

Como es fácil comprender, a Einstein le sentó muy mal y renunció a su intento de emprender una actividad universitaria. El 3 de enero de 1908 escribió a su amigo Marcel Grossmann, que, a pesar de su juventud, era ya profesor de matemáticas en el Politécnico de Zurich. Entre otras cosas decía:

«Aunque quizá te parezca ridículo, quiero pedirte consejo sobre un asunto práctico. Tengo mucho interés en lanzarme a la conquista de un puesto de profesor en la Escuela Técnica de Winterthur (matemática y física). Un amigo mío, que es profesor de este centro, me ha dicho, con carácter confidencial, que es probable que muy pronto haya una plaza vacante.

»No pienses que me dejo llevar por la megalomanía o alguna otra pasión sospechosa. Lo único que me mueve es el deseo ardiente de poder continuar mi actividad científica en condiciones menos desfavorables, como te será fácil comprender.

»Pero. "¿Por qué quiere precisamente ese puesto?", te estarás preguntando. La razón es únicamente que creo que tengo más posibilidades de conseguirlo porque:

»1) Estuve allí unos meses cubriendo una suplencia.

»2) *Tengo bastante amistad con uno de los profesores.*
»*Y ahora mi pregunta: ¿Qué es lo que se hace en estos casos? ¿Debo ir a visitar a alguien para que vea personalmente lo maravilloso que soy como profesor y como ciudadano? ¿No es probable que le cause una impresión negativa (no hablo el alemán suizo, tengo rasgos semitas, etc.)? Además, ¿tendría sentido que me dedicara a alabar mi trabajo científico?»*

Einstein no apostó a una sola carta. El mismo mes de enero solicitó un puesto de profesor de matemáticas en el Instituto Cantonal de Zurich, donde había una plaza vacante. Pero por aquellas fechas estaba a punto de terminar tan siniestra comedia. El 28 de enero, el profesor Alfred Kleiner, el que había participado en el rechazo y en la aceptación de las tesis doctorales presentadas por Einstein en la Universidad de Zurich, le envió una enigmática postal en la que expresaba su deseo de ponerse lo más pronto posible en contacto con él para tratar de un asunto de importancia para ambos.

Deseando que Einstein fuera a la Universidad de Zurich como catedrático, Kleiner le insistió en que intentara una vez más hacerse *Privatdozent* en la Universidad de Berna y en que le informara de la marcha de los acontecimientos, a fin de, en caso de que las cosas se torcieran, buscar otros procedimientos menos ortodoxos por los que Einstein pudiera cumplir los prerequisites para conseguir una cátedra.

Einstein volvió a intentarlo. Esta vez las cosas fueron mejor, y en 1908 pasó a ser *Privatdozent* de la Universidad de Berna. De momento no consiguió ninguna ventaja. Tenía que trabajar las mismas horas que antes en la oficina de patentes y, además, ahora tenía que dar clase en la universidad. El puesto de *Privatdozent* no estaba remunerado con un salario fijo, ni en Berna ni en ninguna parte. Los alumnos que asistían a clase pagaban unas cuotas destinadas a los profesores. Los catedráticos, que sí tenían salarios fijos, aumentaban sus ingresos dando clases en los cursos obligatorios, donde el número de alumnos era mayor. En cambio, un *Privatdozent* solía encargarse por lo general de los cursos especializados, que atraían a menos alumnos y, por tanto, suponían unos ingresos económicos

miserables. Einstein ganó muy poco con sus clases en la Universidad de Berna: los únicos que asistían de forma habitual eran Besso y uno o dos alumnos más.

En aquellas fechas. Einstein no era muy buen profesor. Tenía cosas más importantes en que pensar. Pero si quería obtener una cátedra, tenía que pasar por los ritos de iniciación tribal propios del mundo académico. Lo hizo a regañadientes y con actitud rebelde. No hizo ningún esfuerzo por mejorar su apariencia exterior ni su comportamiento para ponerse más a tono con la tradición académica. Entre los alumnos de Berna había por entonces muchos judíos rusos, pobres, mal vestidos y desgredados, a los que, precisamente por todo eso, se les miraba con malos ojos. La hermana de Einstein. Maja, cuenta una anécdota que refleja la impresión que debió de causar Einstein entre sus superiores. Ella era por entonces estudiante de la Universidad de Berna. Un día decidió asistir a una de las clases de Einstein y preguntó al conserje en qué aula se encontraba su hermano, el doctor Einstein. Viendo a la joven tan limpia y arreglada, el conserje dijo totalmente desconcertado: «¿Cómo? ¿Ese... ruso es hermano suyo?» Y cuando Kleiner, tras una visita por sorpresa al aula de su protegido, le criticó su forma de dar clase. Einstein dijo: «Personalmente, nunca he deseado tener una cátedra en Zurich.»

En la primavera de 1909 llegó la esperada autorización para crear en la Universidad de Zurich una nueva plaza de profesor adjunto (*professor extraordinarias*) de física teórica. Las clases comenzarían en el otoño. El concejal Ernst propuso a Friedrich Adler, amigo de Einstein, para el puesto. Adler era un rival difícil, pues su padre, fundador del partido socialdemócrata austríaco, tenía bastante poder político. Pero el joven Adler, hombre de elevados ideales, insistió en renunciar en favor de Einstein, solicitando a la junta de educación que tuviera en cuenta la extraordinaria capacidad científica de Einstein, muy superior a la suya. Su alegato fue tan elocuente que a Ernst no le quedó otra salida que renunciar a la candidatura de Adler, y como consecuencia de este acto desinteresado, Einstein fue elegido para el cargo de profesor adjunto el 7 de mayo de 1909, a la edad de treinta años.

Hay en esto cierta semejanza con un episodio de la vida de Newton. En 1669, éste tenía veintisiete años y su protector en Cambridge, Isaac Barrow, renunció a su

cátedra para que pudiera pasar a manos de Newton. Sin embargo, los destinos de Adler y de Barrow fueron muy distintos. Barrow se dedicó a la teología. Adler participó cada vez con más pasión en la política, y en 1916, su idealismo, perturbado por los horrores de la I Guerra Mundial, le llevó a asesinar al primer ministro austríaco, acto por el cual recibió una condena no muy severa.

En 1909 Einstein estaba demasiado absorto en sus investigaciones como para prestar atención a la política, a no ser de forma esporádica. El 6 de julio presentó su dimisión en la oficina de patentes. Tendría efecto a partir del 15 de octubre de 1909. En una carta dirigida a Besso en 1919 hablaba con nostalgia de dicha oficina, «aquel claustro secular donde incubé mis mejores ideas y donde pasamos tan buenos ratos juntos». Einstein pasó allí siete años, número mágico.

Ya hemos mencionado la conferencia de Minkowski en Gotinga el año 1907. El 21 de septiembre de 1908 presentó en Colonia una versión técnica en el LXXX Congreso de Científicos y Físicos Alemanes, que duró una semana. Su intervención es famosa, entre otras cosas, por la provocativa afirmación con que comenzó: «A partir de ahora, el espacio en sí mismo y el tiempo en sí mismo están llamados a hundirse por completo en la oscuridad: sólo una especie de unión entre ambos podría conservar una existencia independiente.» Si estas palabras suscitan nuestra curiosidad, han conseguido el objetivo principal de Minkowski. Además, ocultaban una hermosa obra de unificación.

Newton se había imaginado un mundo, ¿cómo podríamos decirlo?, perfectamente encajado dentro del espacio absoluto y del tiempo absoluto. Einstein se distanció de esta imagen al decir que los distintos observadores que están en movimiento uniforme establecen diferentes sistemas de simultaneidad. Como esto afecta también a las medidas que toman de la longitud, podemos decir que los distintos observadores tienen diferentes sistemas particulares del tiempo y del espacio. (Estrictamente hablando, no es ésta la mejor razón, pero por el momento puede ser suficiente.)

Pero, a pesar de estas discrepancias, los observadores tienen mucho en común. Por ejemplo, obtienen el mismo valor c para la velocidad de la luz. Y, por encima de

todo, habitan en el mismo universo.

Quizá todo esto nos resulte decepcionante, por demasiado evidente. Pero nos lleva al fondo de la cuestión. Los tiempos y espacios particulares de los diferentes observadores no existen aisladamente. En la teoría de la relatividad, hacía ver Minkowski, todos pertenecen a un ámbito único, universal y público, que es un conglomerado de espacio y tiempo. Se llama *espacio-tiempo*. ¿Cómo obtienen los distintos observadores sus tiempos y espacios personales? Separando de distintas maneras este conglomerado espacio-tiempo en espacio y en tiempo. Es un poco como si, para poder encontrar sus espacios personales, los distintos observadores fueran cortando mentalmente un vulgar trozo de queso en distintas direcciones.

Pero se trata de un trozo de queso cuatridimensional. El espacio-tiempo tiene cuatro dimensiones. El tiempo constituye una dimensión en condiciones parecidas a las tres dimensiones del espacio.

Dicho esto, disipemos la sensación de desconcierto y misterio que quizá se haya producido. En primer lugar, no debemos tratar de representarnos visualmente el espacio-tiempo cuatridimensional. Es absolutamente imposible. Ni siquiera Einstein o Minkowski podrían hacerlo. Los profesionales recurren a la analogía matemática, y aunque de esta manera pueden mantener discusiones de gran altura, lo que no pueden es representárselo visualmente.

En un trozo de papel cuadriculado, dos números representan la posición de un punto. Por eso decimos que la superficie del papel es bidimensional. En una habitación, hacen falta tres números, por ejemplo, las distancias al suelo y a dos paredes-, y decimos que el espacio tiene tres dimensiones. Si hablamos no de puntos sino de puntos en instantes concretos, necesitamos cuatro números, tres para la posición espacial y uno para el tiempo. En este sentido, el mundo es cuatridimensional.

Más de uno respirará con alivio y dirá: si eso es todo, entonces el universo de Newton era cuatridimensional. Y en cierto sentido lo era. Pero como el tiempo absoluto estaba al margen del espacio absoluto, con la excepción de que el espacio absoluto existía en todos los tiempos-, podríamos decir que el universo newtoniano

tenía 3-1-1 dimensiones, mejor que 4 dimensiones. Otra cosa es lo que ocurre con el espacio-tiempo de la relatividad, pues el espacio y el tiempo aparecen tan íntimamente entrelazados que casi resulta inevitable el término «cuatridimensional».

Detengámonos un poco más en este punto. Volviendo a nuestros vehículos espaciales y a sus capitanes *A* y *B*, supongamos que *B* está intentando informar de su misión. Aprieta el mando *t* y luego el mando *h*. Estos dos hechos, el de apretar uno y otro mando, se producen a una distancia de una pulgada y el tiempo que los separa es, por ejemplo, medio segundo exacto, según *B*, pero no según *A*. En medio segundo, *B* recorre 5.000 kilómetros con relación a *A*. Por eso, para *A* la distancia entre los dos hechos es inmensamente mayor de lo que dice *B*. Dadas las circunstancias, parece imposible que *A* y *B* lleguen a una fórmula numérica común al hablar de los dos acontecimientos. De hecho, debido al retraso de los relojes, *A* comprueba que para él los dos hechos están separados por poco más de medio segundo, con lo que *A* y *B* no sólo discrepan en cuanto a la distancia sino también en cuanto al tiempo que pasa entre los dos hechos.

Pero supongamos que cada uno de ellos hace lo siguiente: en primer lugar, convertir en distancia el intervalo de tiempo obtenido. ¿Cómo? Muy sencillo, calculando la distancia que recorrería la luz, suponiendo siempre que su velocidad es *c*, durante el tiempo en cuestión. Para mayor comodidad, llamemos a esto distancia *temporal* entre los hechos, y *distancia espacial* al aspecto anterior.

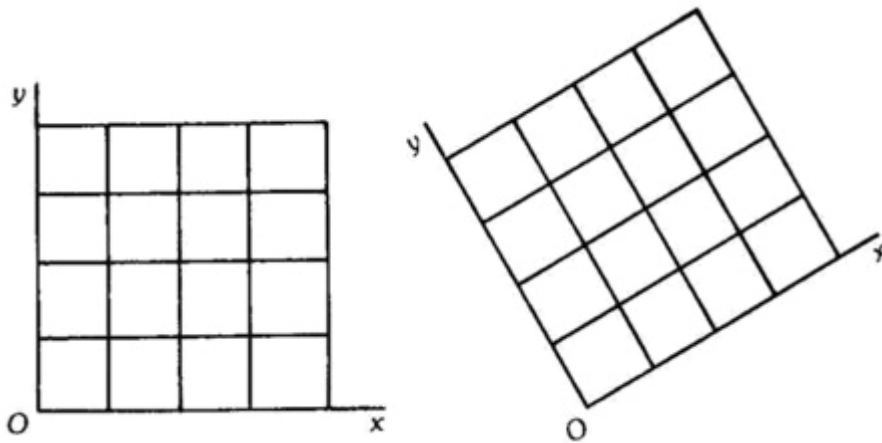
No olvidemos que *A* y *B* discrepan claramente al precisar la distancia espacial y la distancia temporal que separa a los dos hechos. Pero hagamos que *A* y *B* calculen por su cuenta la cantidad

$$(\textit{distancia espacial})^2 - (\textit{distancia temporal})^2$$

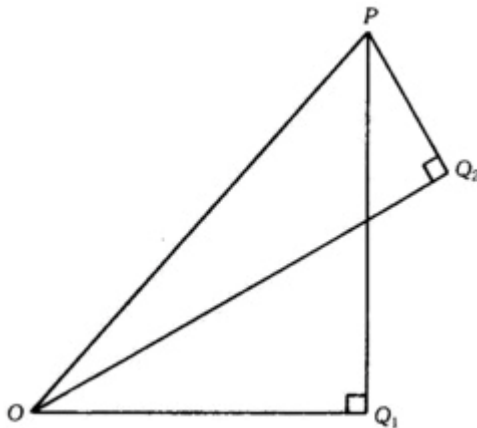
y, según las ecuaciones de la relatividad, obtendrán el mismo resultado. Lo mismo le ocurrirá a cualquier otro observador que esté en movimiento uniforme.

En el sistema de Newton las distancias espaciales serían de por sí todas iguales, y

lo mismo ocurriría con las distancias temporales. Pero, según el principio de relatividad, sólo la citada combinación de ambas tiene el mismo valor para todos los observadores. Esta afirmación es de gran trascendencia. Pero recordemos ahora el teorema de Pitágoras, que tanto interés había suscitado en Einstein cuando era niño. Imaginemos a dos personas, C y D , que van cuadrículando esta página con líneas superpuestas. Cada una de ellas actúa independientemente y en la forma indicada en el diagrama siguiente:



Calculemos las coordenadas x e y del punto P en el sistema trazado por C : son las distancias OQ_1 y Q_1P . Si hacemos lo mismo en el sistema de D , las distancias son OQ_2 y Q_2P . Es evidente que C y D no están de acuerdo en las coordenadas de P .



Pero, como los ángulos Q_1 y Q_2 son ángulos rectos, sabemos, por el teorema de Pitágoras, que la suma de sus cuadrados es idéntica, siendo igual a OP^2 . Por eso, a pesar de sus discrepancias, C y D obtienen el mismo valor para la cantidad

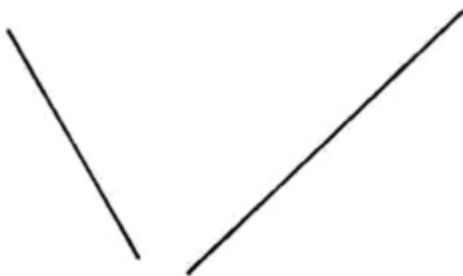
$$(\text{abscisa})^2 + (\text{ordenada})^2$$

y resulta que, con excepción del signo, que ahora es de más y antes era de *menos*,

ésta es precisamente la misma fórmula que la de la relatividad referida a la distancia espacial y a la distancia temporal. De hecho, utilizando la cantidad «imaginaria» $\sqrt{-1}$ podemos cambiar el signo de *menos* por el de *más*, si así nos parece.

Minkowski se dio cuenta de que esta sorprendente semejanza matemática, pero no sus consecuencias einsteinianas, había sido advertida y utilizada por Poincaré en su artículo de 1905. Por esta semejanza, nos sentimos tentados de considerar el tiempo como una cuarta dimensión que, cuando se expresa en forma de longitud, se combina en condiciones casi de igualdad con las tres dimensiones del espacio para formar un espacio-tiempo cuatridimensional, global y único. De hecho, retrospectivamente, la tentación es matemáticamente irresistible, aun cuando siga siendo imposible representar visualmente el espacio-tiempo cuatridimensional.

Supongamos que el signo ortográfico que sigue a esta frase representa un punto. Podemos pensar en él como si lo fuera realmente. Pero es un punto duradero, que se mantiene en el tiempo. No desaparece en el mismo momento de aparecer. Por eso, en el espacio-tiempo se prolonga como si fuera un filamento o, según el término acuñado, una *línea universal*. Para facilitar la representación visual, imaginemos que la dimensión temporal del espacio-tiempo está representada en esta página por la dirección descendente. En ese caso, dos líneas del universo como



las de la figura representan dos puntos que se aproximan.

Podemos verlo concibiendo nuestra atención, nuestro «ahora»- como una línea horizontal que desciende a velocidad constante por la página. Pero las líneas del universo no se mueven. En el espacio-tiempo, pasado, presente y futuro están

desplegados ante nosotros, inmóviles como las palabras de un libro.

Minkowski no se contentó con esto. Pasó a demostrar, por ejemplo, que, incrustadas en el espacio-tiempo, las ecuaciones de Maxwell adquieren una forma extraordinariamente sencilla y unificada, como si se hubieran hecho pensando en el

espacio-tiempo, y al revés.

Esta era la esencia de lo que quería decir Minkowski cuando en el congreso de 1908 afirmó solemnemente que el espacio y el tiempo, por sí solos, estaban llamados a hundirse por completo en la oscuridad y que sólo la unión de ambos podría conservar una existencia independiente. Podría haber añadido que, más que nunca, aquello valía también para la electricidad y el magnetismo.

El siguiente congreso, el LXXXI, se celebró en Salzburgo, y ante declaraciones tan inquietantes hechas por un hombre de la categoría de Minkowski no es extraño que invitaran al propio Einstein. Pronunció su conferencia el 21 de septiembre de 1909, exactamente un año después que Minkowski, y habló sobre «El desarrollo de nuestra concepción de la naturaleza y la constitución de la radiación», tema en que entraban a la vez la relatividad y los quanta.

Entre los presentes figuraban algunos de los físicos más destacados del mundo. Según la severa opinión de Einstein, su conferencia, desde el punto de vista científico, no tuvo demasiada importancia, pues, como comentó a un colaborador, no contenía nada nuevo. Aquello no era del todo cierto. Einstein exageraba en su modestia. Además, para muchos de los presentes, la conferencia fue toda una revelación. Y no porque aceptaran, quizá ni lo entendieran- todo lo que él expuso, sino porque lo que querían era ver y evaluar al hombre de quien tanto habían oído hablar, y en seguida comprendieron que estaban ante un genio. También para Einstein fue aquél un momento importante. Llevaba muchos años trabajando en una especie de exilio científico, y su curiosidad por ver a los grandes científicos hablar y discutir en persona era al menos tan grande como la que éstos pudieran sentir por él. La confianza que tenía en sí mismo no sufrió mella, pues comprobó que era capaz de estar a su altura. Además, en este congreso tuvo ocasión de conocer a Planck. Y por si fuera poco, entabló nuevas amistades, que dieron lugar posteriormente a una abundante correspondencia científica.

Por eso. cuando, al mes siguiente, se incorporó a la cátedra de la Universidad de Zurich. su carrera había realizado un enorme progreso. Y seguiría progresando impetuosamente, compensando en cierta forma la descorazonadora lentitud de sus

primeros pasos. Einstein se alegró de verse rodeado de muchos viejos amigos y de estar en Zurich, ciudad que le recordaba sus días de estudiante. Pero no iba a quedarse mucho tiempo. En 1911, a pesar de las dificultades originadas por el hecho de que fuera judío y extranjero, le ofrecieron el puesto de profesor titular en la Universidad alemana de Praga, donde Mach había ocupado el puesto de rector. Como solía hacer cuando le preguntaban oficialmente cuál era su religión, declaró que no estaba afiliado a ninguna confesión. Pero en este caso tuvo ocasión de comprobar que el emperador austro-húngaro, Francisco José, por cuyas manos tenía que pasar el nombramiento de Praga, exigía a todo profesor la pertenencia a una confesión religiosa reconocida: si no creían en un Dios oficialmente reconocido, ¿cómo iban a prestar el necesario juramento de fidelidad?

Ante ello, Einstein solicitó al funcionario encargado del registro que cambiara la anotación correspondiente a su afiliación religiosa, pero la respuesta fue que tal cambio no era posible en ausencia de nuevas pruebas. Einstein se encontraba ante un problema. Su hermana nos cuenta cómo lo resolvió. Preguntó por qué habían hecho constar que no pertenecía a ninguna confesión religiosa. El funcionario respondió, lógicamente, que porque él mismo lo había declarado. Estaba seguro de que Einstein no iba a saber qué contestar. Pero éste respondió diciendo que en aquel momento se declaraba oficialmente judío. El funcionario no supo qué responder y cambió la palabra «ninguna» por la de «mosaica», que es el término oficial para la fe judía.

Teniendo en cuenta lo que ocurrió más adelante, esta identificación con el judaísmo adquiere una significación simbólica y profética. Sería un error pensar que Einstein fue un judío ritualista. Fue uno de los hombres más religiosos, pero sus creencias, demasiado profundas para poderlas formular adecuadamente con palabras, se acercaban a las del filósofo judío del siglo XVII Spinoza, a quien habían excomulgado los mismos judíos. Einstein, con su sentido de la humildad, del temor, de la admiración y de la singularidad del universo, forma parte del grupo de los grandes místicos. En una carta de 1929 se reconocía discípulo de Spinoza, que veía a Dios en la naturaleza. Poco antes le habían preguntado por cable

transatlántico si creía en Dios, y telegrafió la siguiente respuesta: «Creo en el Dios de Spinoza, que se revela en la ordenada armonía de lo que existe, no en un Dios que se preocupa por los destinos y acciones de los seres humanos.» Su actitud hacia Spinoza fue de profunda reverencia. En 1932 declinó la invitación de escribir un breve estudio sobre el filósofo diciendo que nadie podía hacerlo, que para ello se necesitaba no sólo competencia sino también una «extraordinaria pureza, imaginación y modestia». En esa misma carta hay unas palabras cuya importancia para nuestro relato quedará clara más adelante: «Spinoza fue el primero en aplicar con verdadera coherencia al pensamiento, sentimientos y acción del hombre la idea de la inestabilidad determinista de todo lo que ocurre.» En una carta escrita en 1946 Einstein calificaba a Spinoza como «una de las almas más profundas y puras que ha producido nuestro pueblo judío». Y al año siguiente, al resumir sus puntos de vista sobre la creencia en un Ser Supremo, escribió: «Me parece que la idea de un Dios personal es un concepto antropológico que no puede tomarse en serio. Tampoco me siento capaz de imaginar una voluntad u objetivo al margen de la esfera humana. Mis concepciones están próximas a las de Spinoza: admiración ante la belleza de la lógica sencillez del orden y armonía en la que creo, y que sólo podemos comprender con humildad y muy imperfectamente. Creo que tenemos que conformarnos con nuestra comprensión y conocimiento imperfectos y tratar los valores y obligaciones morales como un problema puramente humano, el más importante de todos los problemas humanos.»

Estos fragmentos pueden parecer bastante explícitos. Sin embargo, son demasiado concisos. Falta en ellos gran parte de Spinoza y de Einstein. Además, Einstein utiliza muchas veces la palabra «Dios» como metáfora de algo trascendente.

Praga nos brinda otros simbolismos proféticos. El biógrafo de Einstein Philipp Frank, que le sucedió en la cátedra de dicha ciudad, nos dice que el protocolo exigía no sólo que el catedrático prestara juramento de fidelidad, sino también que al hacerlo llevara un uniforme llamativo y con galones dorados, algo parecido al de un oficial de marina. El antimilitarista Einstein tuvo que ponerse este ridículo uniforme, que además incluía una espada.

Fue en Praga donde el físico vienes Paul Ehrenfest, alumno de Boltzmann, conoció a Einstein por primera vez. Ehrenfest, que estaba en Praga de visita, había sido invitado a casa de los Einstein y éstos salieron a esperarle a la estación. Al poco de llegar, los dos científicos entablaron una animada discusión que duró dos días casi ininterrumpidos. Al acabar, se pusieron a interpretar dúos musicales, con Einstein al violín y Ehrenfest al piano. En su diario, Ehrenfest anotó: «Sí, seremos amigos. He sido intensamente feliz.» Y Einstein, recordando esta visita en 1934, escribió: «A las pocas horas nos habíamos hecho amigos de verdad, como si nuestros sueños y aspiraciones nos empujaran a entendernos.» Estas palabras forman parte de la nota necrológica que Einstein escribió sobre su amigo.

Einstein estuvo en Praga año y medio. Allí, como en Zurich, fue un profesor muy poco convencional. No sentía ningún vano orgullo por el cargo que ostentaba. No se daba importancia y no soportaba los formalismos. Tampoco participó en la habitual competencia entre los distintos catedráticos por conseguir superar el prestigio de los demás.

Propuso a Ehrenfest como su sucesor en Praga. Pero éste se negó a declarar que era de religión judía. Anteriormente, para burlar una ley austro-húngara que prohibía el matrimonio entre judíos y cristianos, Ehrenfest y su esposa, la física Tatyana, habían declarado oficialmente que no pertenecían a ninguna confesión religiosa, y Ehrenfest, a pesar de la insistencia de Einstein, se negó a declarar lo contrario, aunque fuera por puro formalismo.

En 1911, estando en Praga, Einstein realizó nuevos progresos en su teoría general de la relatividad, que iba madurando poco a poco, y en 1912 propuso una ley cuántica fundamental de los procesos fotoquímicos, que Emil Warburg confirmó experimentalmente en Berlín poco tiempo después. Mientras tanto, en junio de 1911, recibió una invitación para acudir en el otoño a la primera de una serie de conferencias científicas celebradas en Bruselas y que quedarán para siempre asociadas con el nombre del industrial belga Ernest Solvay, que las promovió y financió.

La conferencia estuvo organizada por el colega de Planck en Berlín, el físico

alemán Walther Nernst, quien tras su fuerte escepticismo inicial había aceptado con gran entusiasmo las ideas cuánticas de Einstein sobre el calor interno. El objetivo central del Congreso Solvay era reunir a los principales físicos europeos con la esperanza de que la ocasión de poder discutir intensamente durante cinco días seguidos en medio de un ambiente de lujo les permitiera superar el trastorno causado por los avances en la física teórica.



Congreso Solvay de 1911. Sentados, empezando por la izquierda. Nernst, Brillouin, Solvay, Lorentz, Warburg, Perrin, Wien (detrás), Mme. Curie y Poincaré. De pie: Goldschmidt, Planck, Rubens, Sommerfeld, Lindemann. De Broglie. Knudsen, Hasenöhrl, Hostelet, Herzen, Jeans, Rutherford, Kamerlingh-Onnes, Einstein y Langevin.

Participaron veintiún científicos y las sesiones estuvieron presididas por el incomparable Lorentz. La invitación de Einstein, aunque prácticamente inevitable, es una manifestación evidente de la alta estima en que se le tenía por entonces. Formaba ya parte de la minoría selecta del mundo científico.

Aunque las discusiones fueron profundas, animadas y largas, los problemas no desvelaron sus secretos, a la espera del momento oportuno. Parecía que el

Congreso Solvay no había resuelto nada. Sin embargo, estaba llamado a tener profundas repercusiones en la física teórica, pues, entre otras cosas, dio al enigmático quantum una categoría que hasta entonces nunca había tenido. Uno de los primeros resultados fue que Poincaré, hombre de enorme influencia, se dejó convencer de la importancia del quantum.

Einstein escribió en noviembre de 1911 dos cartas en las que exponía algunas de sus impresiones sobre el congreso a su íntimo amigo Heinrich Zangger, director del Instituto de Medicina Forense de la Universidad de Zurich. He aquí algunos fragmentos de las mismas. Al leerlas, hay que tener presente que Einstein no pensaba en que se iban a publicar.

«Lorentz hizo las funciones de presidente con un tacto incomparable y una habilidad increíble. Habla las tres lenguas perfectamente y tiene una singular agudeza científica. Yo conseguí convencer a Planck de que aceptara muchos de mis conceptos, a pesar de que hacía años que venía resistiéndose a ello. Es un hombre honrado a carta cabal, que piensa en los demás más que en sí mismo... La experiencia de Bruselas fue muy interesante. Además de los participantes franceses Curie, Langevin, Perrin y Poincaré, y de los alemanes Nemst, Rubens, Warburg y Sommerfeld, estaban Rutherford y Jeans. Además, claro está, de H. A. Lorentz y Kamerlingh-Onnes. Lorentz es un prodigio de inteligencia y tacto. ¡Una obra de arte viva...! Poincaré se mostró en general hostil [ablehnend] (contra la teoría de la relatividad) y, a pesar de su agudeza, demostró no entender demasiado la situación. Planck está bloqueado por algunos prejuicios indudablemente falsos... pero nadie tiene las ideas claras. Todo esto habría encantado a los diabólicos jesuitas.»

Casi en el mismo momento en que Einstein fue nombrado catedrático en Praga, Grossmann, y algo después Zangger y otros, comenzaron a buscar la forma de que volviera a Zurich, en esta ocasión al Politécnico. Se solicitó a personas importantes que expusieran la opinión que les merecía Einstein. Poco después del Congreso

Solvay. Marie Curie respondió con unas líneas llenas de entusiasmo.

«He admirado enormemente las obras publicadas por Einstein sobre problemas relacionados con la física teórica moderna. Además, creo que los físicos matemáticos estamos todos de acuerdo en considerar estas obras de la máxima categoría. En Bruselas, donde asistí a una conferencia científica en que intervino también Einstein, pude captar la claridad de su mente, la profundidad de sus conocimientos y la amplitud de su documentación. Si consideramos que Einstein es todavía muy joven, podemos depositar en él las mayores esperanzas y verle como uno de los grandes teóricos del futuro. Creo que una institución científica que brinde a Einstein la oportunidad de trabajar en lo que él desea, nombrándole catedrático en las condiciones que se merece, se sentirá honrada con tal decisión y prestará un gran servicio a la ciencia.»

Entre las otras personas que escribieron en favor de Einstein estaba Poincaré. Su carta es especialmente interesante: «Einstein es uno de los pensadores más originales que he conocido en mi vida. A pesar de su juventud ha logrado ya un puesto distinguido entre los principales científicos de su época. Lo que debemos admirar particularmente en él es la facilidad con que se adapta a los nuevos conceptos y consigue extraer de ellos todas las conclusiones que encierran. No se considera sometido a los principios clásicos, y cuando se enfrenta con un problema de física en seguida contempla todas sus posibilidades. Esto le permite predecir mentalmente nuevos fenómenos que un día quizá puedan verificarse de forma experimental. No quiero decir que todas estas predicciones pasen la prueba experimental cuando tales pruebas sean posibles. Como busca en todas las direcciones, debemos esperar exactamente lo contrario: que la mayoría de los caminos emprendidos por él no sean más que callejones sin salida. Pero al mismo tiempo, hay que esperar que una de las direcciones indicadas sea la correcta, y eso ya es bastante. Así es exactamente como hay que actuar. El papel de la física matemática es formular preguntas, y sólo la experimentación puede darles respuesta.»

En enero de 1912 Einstein recibió del Politécnico de Zurich la oferta de

incorporarse a dicho centro como profesor, con un contrato por diez años. En aquellas fechas fue un hombre muy solicitado. Estando en Praga, recibió ofertas para ir de profesor a Utrecht. a Leiden, en este caso como sucesor de Lorentz, que estaba a punto de retirarse- y a Viena. La última oferta incluía un sueldo magnífico. Pero Einstein tenía el corazón en Zurich y ya se había comprometido con el Politécnico. En el verano de 1912 escribió a Zangger y, hablando de la oferta de Viena, comentaba: «No la acepté... Habría sido poco noble por mi parte *venderme* de esta manera a espaldas de los demás.»

Así pues, en octubre de 1912 Einstein volvió como profesor al Politécnico de Zurich, donde años antes no había conseguido superar el examen de ingreso y donde, tras terminar sus estudios, había intentado inútilmente conseguir un empleo. De su importante labor académica hablaremos en el siguiente capítulo. En cuanto a la cátedra de la universidad de Leiden, ante la imposibilidad de contar con Einstein, el perspicaz Lorentz se inclinó por Ehrenfest.

La estancia de Einstein en Zurich sería breve. Planck y Nernst estaban haciendo planes para llevarle a Berlín. En verano de 1913 fueron personalmente a Zurich a hacerle una oferta: sería elegido, a la temprana edad de treinta y cuatro años- miembro de la prestigiosa Real Academia de Ciencias de Prusia; el cargo iría acompañado de una remuneración económica; tendría la categoría de catedrático: sería director de la futura sección de investigación científica del Instituto *Kaiser Wilhelm*; estaría en contacto con algunos de los mayores científicos de Alemania; y sobre todo, podría elegir libremente entre dar clases o no darlas: y, si lo deseaba, podría dedicar todo su tiempo y energía a su investigación.

Esa era la oferta. Había muchas probabilidades de que fuera aprobada oficialmente. En tal caso, ¿la aceptaría? Tras pensarlo detenidamente. Einstein pensó que no podía rechazarla.

Recordemos que cuando Planck y Nernst realizaban estos esfuerzos por llevar a Einstein a Berlín, no aceptaban todavía su teoría de los quanta de luz, y éste no había formulado del todo su monumental teoría general de la relatividad. Pero, sin tener en cuenta estos dos importantes logros, lo consideraban ya como el mayor

científico de su tiempo.

Con ayuda de Nernst, Rubens y Warburg, todos ellos destacados científicos de Berlín y miembros de la Academia de Ciencias de Prusia, y mencionados por Einstein en su carta a Zangger sobre el Congreso Solvay, Planck redactó un largo documento manuscrito, firmado por los cuatro, que sería presentado al ministerio de Educación. Destacaba los méritos científicos de Einstein y trataba de convencer a las autoridades competentes de que merecía lo que ellos estaban proponiendo al Estado y al Kaiser, a pesar de que era ciudadano suizo, judío e insistía tenazmente en que no le hicieran adoptar la ciudadanía alemana. Fue en este documento donde Planck hizo los comentarios mencionados en el capítulo cuarto sobre la idea de los quanta de luz propuesta por Einstein.

Capítulo 8

De los principia a príncipe

En el verano de 1914, mientras Einstein seguía en Berlín. Mileva se llevó a los niños a Zurich. Era el fin de su matrimonio.

En agosto, llegó la 1 Guerra Mundial. Los alemanes, en busca de una victoria inmediata, realizaron un rápido movimiento de ataque y violaron deliberadamente la neutralidad de Bélgica, acto que en aquellos años lejanos fue considerado como máxima demostración de barbarie. Pero la jugada les salió mal. La lucha se prolongaría hasta noviembre de 1918, y se llevó consigo millones de vidas. El fervor patriótico se contagió en ambos bandos del conflicto. Los científicos de un bando se enfrentaron contra los científicos del bando contrario, los intelectuales contra los intelectuales, con una pasión nada académica que dejó atónitos a hombres como Bertrand Russell, en Inglaterra, y a Einstein, en Alemania. Con la intención de mitigar los negativos efectos psicológicos de la invasión de Bélgica, los alemanes redactaron un «Manifiesto al mundo civilizado» en el que rechazaban toda culpabilidad y presentaban el militarismo alemán como defensor intachable de su cultura. El manifiesto fue firmado por noventa y tres intelectuales alemanes, Planck entre ellos, y su colaboración suscitó gran resentimiento en el extranjero.

Einstein dijo más tarde que, como ciudadano suizo, nadie le había pedido que firmara. Tampoco lo habría hecho si se lo hubieran propuesto. Apoyó desde el primer momento a su colega Georg Nicolai, que, con gran valor, estaba preparando un «Manifiesto a los europeos», de signo contrario. Este documento, que, según Nicolai, Einstein ayudó a redactar, atacaba duramente el manifiesto anterior. Pedía la cooperación entre los intelectuales de las naciones en guerra en bien del futuro de Europa y proponía el establecimiento de una Sociedad de Europeos. Sólo se atrevieron a firmarlo cuatro personas: Nicolai, Einstein y otros dos.

Einstein no participó en la guerra. Hizo lo que pudo -aunque fuera poco- por ayudar a la causa de la paz. y con la intensidad que le daba la angustia se sumergió en la investigación. En la oficina de patentes había tenido que sacar tiempo a escondidas

para realizar sus cálculos. Aquello le hacía sentirse culpable. Y ahora, que trabajaba en Berlín mientras Europa sufría la guerra, tampoco pudo evitar cierto sentimiento de culpabilidad.

En este punto, vamos a hacer una pausa para hablar de sus trabajos en el campo de la teoría general de la relatividad, pues, a pesar de toda su lejanía cósmica, tenía una curiosa relación con la guerra. Al hacerlo iremos avanzando sin precipitación. La teoría de la relatividad no se desarrolló en un día.

Antes de nada debemos preguntarnos: ¿qué había ocurrido con la teoría de la gravedad de Newton? Era evidente que no podía quedar intacta tras el impacto de la relatividad. No era una teoría de campo como la de Maxwell, en la que un campo transmite efectos electromagnéticos con la velocidad de la luz. En la teoría de Newton no había una transmisión comparable a ésta. La gravitación era una fuerza instantánea que actuaba a distancia. Si levantamos un dedo, las consecuencias gravitatorias se harían presentes inmediatamente en todo el universo. Sin embargo, según la relatividad, ninguna señal puede desplazarse a mayor velocidad que la luz. Además, si hay una multitud de simultaneidades distintas, ¿cómo es posible que el efecto gravitatorio esté omnipresente en un instante común y simultáneo? En este sentido son importantes también las ideas del propio Newton. En una carta escribió: «Que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia, de tal manera que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través del *vacío*, sin mediación de ninguna otra cosa, y que a través de y gracias a ella su fuerza y acción puedan transmitirse de una a otra, constituye para mí un absurdo tan grande que pienso que nunca podrá incurrir en él quien tenga cierta capacidad de razonamiento filosófico.»

Varios científicos, Einstein entre ellos, buscaron formas relativistas de modificación de la teoría de la gravitación de Newton. Pero casi desde el principio, Einstein estuvo preocupado por un problema más profundo. ¿Por qué, se preguntaba, tiene que ser algo especial el movimiento uniforme? Sería mucho más convincente que todo movimiento, uniforme o no, fuera relativo.

Pero los hechos iban claramente en su contra. La aceleración es absoluta, como

todos sabemos. No tenemos que estudiar los *Principia* de Newton para convencernos de ello. En un vehículo que se desliza suavemente no notamos sensación de movimiento. Pero si el mismo vehículo da un bandazo lo notamos inmediatamente, como puede acreditar cualquiera de los que van de pie en el metro o en un autobús.

A la vista de tales hechos, Einstein no podía decir que era relativa la aceleración. Pero no era hombre que se dejara arredrar por los datos hostiles que se opusieran a su intuición. Además, algunas de las críticas al espacio absoluto y al movimiento absoluto, sobre todo las hechas por Mach, contribuyeron en gran medida a señalar a Einstein el camino a seguir y a fortalecer su confianza, aunque el camino que recorrió fue muy personal. De hecho, Mach diría cosas muy fuertes sobre la teoría restringida de la relatividad de Einstein.



Mileva Einstein con sus hijos. Hans Albert y Eduard, 1914.

En el artículo de 1907, en que Einstein propuso la fórmula $E = mc^2$, había comenzado ya a abordar el problema de la aceleración, y volvió sobre él en su artículo de 1911, escrito en Praga. La argumentación, sobre todo tal como aparece en 1911, debe figurar entre las más notables de la historia de la ciencia, no sólo por

lo que surgió de ella, sino también porque Einstein penetró, por así decirlo, en campo enemigo y encontró, ocultos desde hacía tiempo, armamentos que él, y sólo él podía utilizar contra los mismos conceptos que parecían estar defendiendo. He aquí la esencia de su argumento.

¿La aceleración es absoluta? Supongamos que lo es y veamos lo que podemos deducir de ello. Imaginemos un vehículo, un pequeño laboratorio, perdido en el espacio, lejos de otros cuerpos gravitatorios, de tal manera que las personas que están en el interior no noten ningún peso. Supongamos que experimenta una aceleración uniforme en una dirección que los hombres del laboratorio consideran como «ascendente», y supongamos que su aceleración es tal que la velocidad aumenta 10 m/s.

¿Aceleración con relación a qué?

¿A qué viene la pregunta? ¿No estamos de acuerdo en que la aceleración es absoluta?

Sí. Pero si la velocidad uniforme es relativa, ¿qué significan 10 m/s? Dentro del laboratorio es algo que no se puede detectar.

Evitemos las complicaciones. Aunque no se pueda detectar la velocidad, la aceleración, el *incremento* de 10 m/s, es detectable. Por ejemplo, da a las personas que están dentro del laboratorio una sensación de peso.

Si estas respuestas un poco toscas nos parecen ocultar cierta torpeza, tanto mejor. Nos demostrarían lo poco natural que resulta tener una relatividad parcial: una relatividad del movimiento uniforme pero no de la aceleración. Sin embargo, por nuestra propia experiencia sabemos que la aceleración es absoluta. Además, así lo ha dicho Newton, y Newton fue un gran hombre. Y el mismo Einstein lo había reconocido en cierta forma, pues en la teoría restringida de la relatividad la aceleración es absoluta.

Volvamos a nuestro laboratorio acelerado «hacia arriba» con una aceleración absoluta de 10 m/s. Todos los objetos libres que hay dentro de él se mueven uniformemente en línea recta. Esto es lo que nos dice la primera ley del movimiento de Newton. Pero en relación con el laboratorio acelerado, estos objetos

no acelerados darán la impresión de que se aceleran «hacia abajo» a 10 m/s; y midiendo, por ejemplo, esta aceleración «hacia abajo» podemos determinar que nuestro laboratorio tiene de hecho una aceleración «ascendente» absoluta de 10 m/s.

Pero, ¡ojo! Cualquiera que sea su masa y su composición, los objetos arrojados tendrán todos la misma aceleración «descendente». ¿No hemos oído esto en otra parte? Claro: en la conocida, aunque apócrifa, historia de Galileo y los objetos que dejaba caer desde la torre inclinada de Pisa. Todos los objetos soltados o arrojados en un lugar determinado caen, por la gravedad, con la misma aceleración (si prescindimos, por ejemplo, de la resistencia del aire). Por eso, al menos en lo que a los objetos arrojados respecta, los efectos que tienen lugar en el pequeño laboratorio acelerado en el espacio reproducen los efectos producidos en un pequeño laboratorio no acelerado de la Tierra. Pero podemos ir más lejos todavía. Un ejercicio de física elemental permitiría demostrar que, según las leyes de Newton, todos los efectos mecánicos que se produzcan en el pequeño laboratorio acelerado del espacio se repetirán en el pequeño laboratorio de la Tierra, sometida a la gravitación.

¿Qué ocurre con los experimentos mecánicos realizados dentro de nuestro laboratorio? Creíamos que nos iban a decir que tenía una aceleración «ascendente» absoluta de 10 m/s. Pero ahora vemos que también podríamos decir que estábamos en un laboratorio situado en la Tierra, bajo la influencia de la gravedad. O en un laboratorio que tuviera, en las debidas proporciones, una mezcla de aceleración y gravedad. En este sentido mecánico, la aceleración no es absoluta.

Observemos la audacia de su argumentación. Comenzamos poniéndonos de acuerdo en aceptar que la aceleración es absoluta. Argumentamos basándonos en la aceleración absoluta. Utilizamos sin inmutamos las leyes de Newton. Y de repente demostramos que, en *lo que a los efectos mecánicos se refiere*, la aceleración es relativa.

Esta conclusión trascendental no era más que un preliminar basado en conceptos sencillos conocidos por los científicos desde hacía siglos, conceptos cuyas

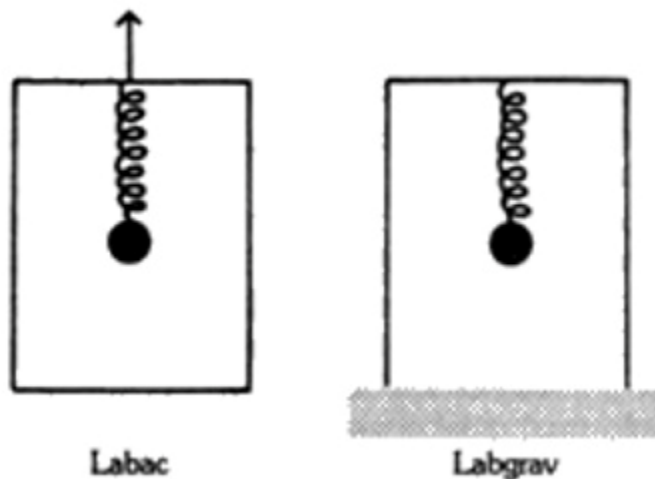
implicaciones nadie había visto hasta entonces. Y ahora llegamos a otra jugada maestra, en este caso de inspiración estética. Una vez llegado a este punto, Einstein eliminó audazmente las anteriores palabras en cursiva, y afirmó, sin reserva, que la aceleración es relativa. ¿Cómo lo hizo? Proponiendo, en 1907, lo que luego llamó *principio de equivalencia* y que se ha hecho famoso, con toda justicia. Afirma que *ningún* experimento interno, sea mecánico o no, puede manifestar diferencia alguna entre el pequeño laboratorio acelerado del espacio y el laboratorio equivalente situado en la Tierra y por tanto sometido a la gravitación.

¿Por qué es tan importante esta afirmación? De momento, nos conformaremos con una respuesta que, sin dejar de ser trascendental, es relativamente secundaria: dado que Einstein podía hacer cálculos aproximados y sencillos en relación con un laboratorio «acelerado», podría aplicar sus resultados a un laboratorio situado en un planeta con gravitación y por tanto hacer predicciones verificables sobre ésta.

Pronto tendremos ocasión de comprobarlo por nuestra cuenta. Pero antes debemos cubrir una laguna hablando de la inspiración que lanzó a Einstein en esta dirección concreta. Por fortuna, él mismo expuso más tarde cómo fue desarrollando estas ideas. Había cambiado la teoría newtoniana de la gravitación para hacer que encajara con la teoría restringida de la relatividad. Pero los cálculos realizados le convencieron de que, en su nueva teoría, los objetos con energías diferentes caerían con aceleraciones distintas, lo cual estaba en contradicción con la ley de Galileo que decía que todos los cuerpos situados en un determinado lugar caen con la misma aceleración. «Esta ley, decía Einstein, podía formularse también como ley de la igualdad de la masa gravitatoria e inerte. Fue entonces cuando se me presentó con toda su significación. Me quedé sumamente impresionado ante su existencia y supuse que en ella debía estar la clave para llegar a una comprensión más profunda de la inercia y de la gravitación.» Lo que Einstein intuyó fue que había algo sospechoso en la explicación que la teoría de Newton daba de la ley de Galileo. Newton utilizaba el concepto de masa en dos sentidos: en primer lugar, como medida de la inercia de un objeto, es decir de su grado de resistencia a dejarse acelerar por una fuerza; y en segundo lugar, como medida del efecto gravitatorio

del objeto. Si se dobla la masa de un cuerpo, la Tierra lo atraerá con doble fuerza gravitatoria. Cierto. Pero, como también se doblará la resistencia inerte a ser acelerado, la aceleración será la misma de antes. Así pues, Newton explicaba la ley de Galileo suponiendo implícitamente que la masa gravitatoria y la masa inerte eran iguales. Pero esto se contradice con los papeles intrínsecamente diferentes que desempeñan en la teoría de Newton y, como Einstein comprendió enseguida, introduce lo que equivale a una coincidencia numérica accidental. Con su principio de la equivalencia. Einstein hacía de la ley de Galileo piedra angular de esta teoría general de la relatividad. Hacía de ella algo fundamental y no mero resultado de un accidente numérico. Era una confirmación de la fuerza primordial de la sencillez.

Dicho esto, veamos algunas de las conclusiones que Einstein extrajo de su principio de la equivalencia en 1907 y 1911. Para facilitar las cosas, cambiaremos el orden y seguiremos hablando de la Tierra donde Einstein habla con términos más matizados; y, para mayor comodidad, llamaremos *Labac* al laboratorio acelerado situado en el espacio, y *Labgrav* al laboratorio sometido a la gravitación terrestre.

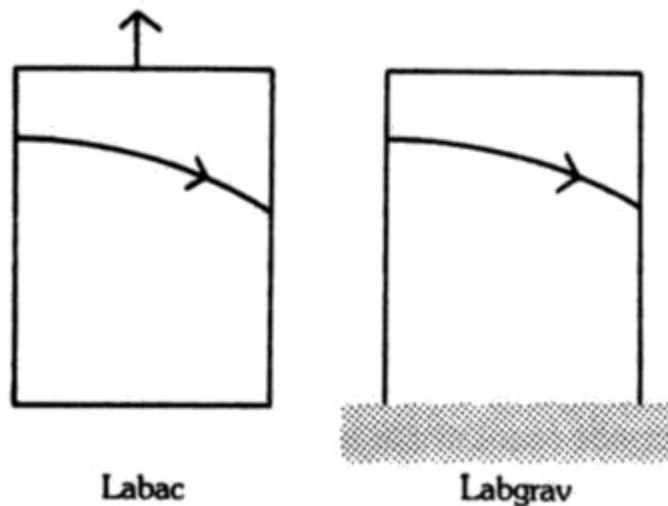


Imaginemos, en primer lugar, un bloque de materia colgado del techo de Labac mediante un muelle, y otro bloque idéntico colgado en Labgrav con un muelle igual al anterior. Ambos muelles aparecerán estirados; en el caso de Labac, porque la inercia del bloque resiste a la aceleración, y en el de Labgrav por la atracción de la

gravedad. Los dos muelles estarán estirados en la misma medida. Por consiguiente, la masa inerte y la masa gravitatoria de los bloques es igual. No debemos sorprendernos ante ello, pues está en la base misma del principio de equivalencia.

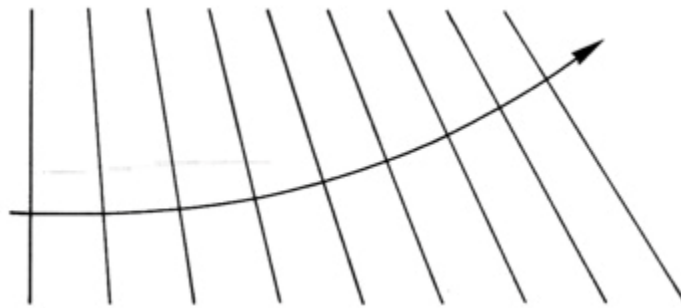
Pero supongamos ahora que los bloques absorben cantidades iguales de energía procedente, por ejemplo, de la radiación. Entonces, según $E = mc^2$, cada bloque adquirirá una masa adicional, y los muelles se estirarán más y en la misma medida en ambos casos. ¿Por qué en la *misma* medida? Porque el principio de equivalencia dice que lo que ocurre en Labac debe ocurrir también, en circunstancias semejantes, en Labgrav. Pero en Labac el nuevo estiramiento refleja la masa inerte, mientras que en Labgrav representa la masa gravitatoria. Por consiguiente, también la energía tiene idéntica masa inerte y gravitatoria. Vemos aparecer ante nuestra mirada una nítida unidad einsteiniana, sin demasiadas huellas matemáticas. Un rasgo notable de estos trabajos de 1907 y 1911 es que Einstein llegó a sus conclusiones más importantes utilizando, en su mayor parte, unas matemáticas muy elementales. Pocas veces se ha llegado a una exhibición tan deslumbrante de intuición pura.

Sigamos los pasos de Einstein. Imaginemos que un rayo de luz atraviesa Labac. Se movería en línea recta (no olvidemos la suposición de que estamos en el espacio absoluto).



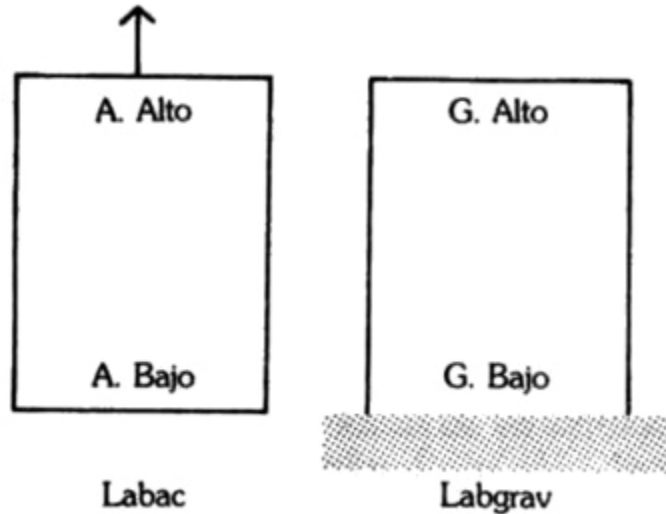
Pero dada la aceleración «ascendente» de Labac, el rayo dará la impresión de doblarse «hacia abajo» con relación a Labac (en el diagrama está muy exagerada la curva). Por consiguiente, como Einstein dedujo en 1907, la luz de un rayo que atraviese Labgrav tendrá también que curvarse hacia abajo: *la gravitación dobla hacia abajo los rayos de luz.*

Esta deducción es, de por sí, importante. Pero encierra otra consecuencia. Concibamos la luz en forma de ondas. Entonces, como indica el diagrama siguiente, cuando se produce un cambio de dirección hacia abajo, la parte inferior de la onda se queda rezagada:



Y esto significa... que *la velocidad de la luz no es constante*, que la gravitación reduce su marcha. ¿No es esto una herejía, y en boca del mismo Einstein?

Pero todavía no hemos terminado con el principio de equivalencia. Situemos, como se observa en el gráfico, a los experimentadores A. Alto y A. Bajo en Labac y G. Alto y G. Bajo en Labgrav:



Cada uno de ellos tendría un reloj muy preciso. Einstein demostró, no hace falta que entremos en detalles, que, dada la aceleración, A. Alto ve que el reloj de A. Bajo se retrasa en comparación con el suyo, mientras que A. Bajo ve, ¡sorpresa!- que el reloj de A. Alto se adelanta. (¡Quién habría pensado que esta coincidencia pudiera sorprendernos!⁴) Por el principio de equivalencia, cuando G. Bajo y G. Alto, en el Labgrav, comparan los relojes al mirarlos, deben coincidir en que el de G. Bajo parece retrasarse con relación al de G. Alto. Así pues, la gravitación deforma el tiempo, y lo hace de manera imprevista.

Einstein no se limitaba a explorar ideas. Buscaba también efectos que pudieran verificarse experimentalmente. Pensemos por ejemplo en las velocidades de los relojes. Sustituyámoslas por las velocidades de oscilación, las frecuencias- de la luz emitida por los átomos. Como señaló Einstein en 1907, si comparamos las frecuencias de la luz que nos llega de los átomos del Sol con las frecuencias de la luz procedente de átomos semejantes de la Tierra, las primeras frecuencias serán inferiores a las segundas en la proporción de media millonésima. Como este

⁴ Para quienes sientan interés, resumimos lo fundamental de la argumentación. Supongamos que el reloj de A. Bajo emite ondas electromagnéticas cuyas oscilaciones coinciden con un tic tac. Dada la velocidad creciente de Labac, las crestas de las sucesivas ondas deben recorrer distancias cada vez mayores para alcanzar a A. Alto, que se aleja. De esta manera lo alcanzarán en instantes más separados en el tiempo que los tic tac de su propio reloj. (Esto es lo que se llama el *efecto Doppler*.) Cuando A. Alto envía las ondas correspondientes, éstas se desplazan hacia un A. Bajo que se acerca, no que se aleja, y el efecto Doppler contribuye a aumentar, en vez de reducir, la frecuencia de llegada de las crestas de las ondas.

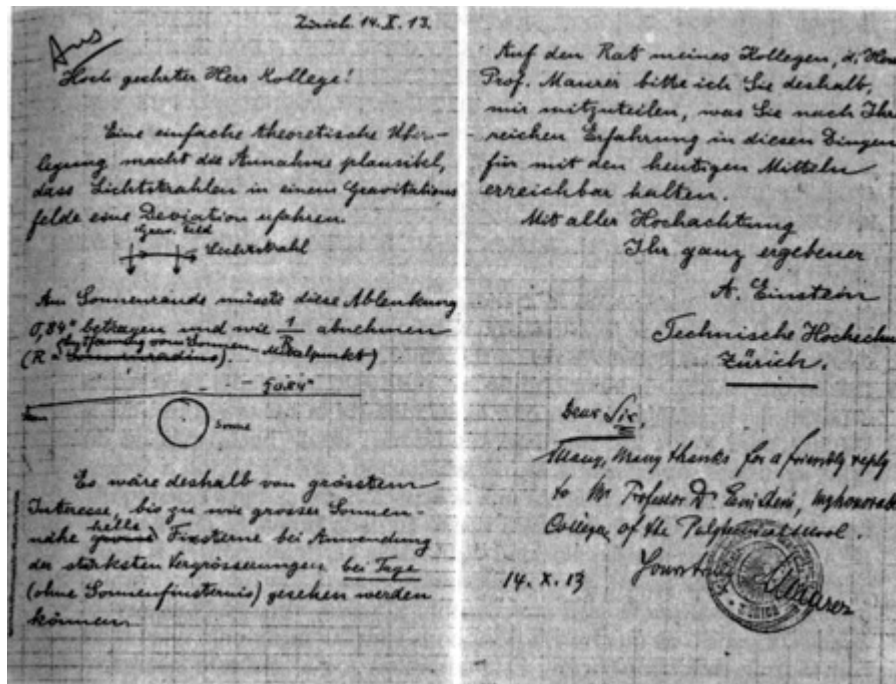
famoso efecto debía manifestarse en una pequeña desviación de las líneas espectrales de la luz solar hacia el extremo rojo del espectro, se conoce con el nombre de *desviación hacia el rojo*.

En cuanto a la curvatura gravitatoria de los rayos de luz, en 1907 Einstein no podía imaginarse una forma viable de verificarla experimentalmente. En 1911, encontró un posible método. Calculó que un rayo de luz estelar que rozara el Sol debía experimentar una desviación de 0,83 segundos de arco, la anchura angular de una moneda de cuarto de dólar vista desde una distancia de unos 6 kilómetros-, (Deberían haber sido 0,87, pero la aritmética, como es bien sabido, no fue nunca el punto fuerte de Einstein.) Esta desviación podría detectarse, según Einstein, durante un eclipse total de Sol.

El astrónomo alemán Erwin Finlay-Freundlich trató de buscar pruebas de esta desviación. Examinó, sin ningún resultado, las fotos tomadas en eclipses anteriores. Pero en 1914 se iba a producir en Rusia un eclipse y allá se trasladó para verificar la teoría de Einstein. El estallido de la guerra le impidió realizar la prueba. Esta desgracia tuvo también su parte positiva, como veremos.

Einstein quería comprobar si los rayos de luz eran curvados realmente por el Sol. El 14 de octubre de 1913 había escrito al famoso astrónomo americano George Hale preguntándole si había forma de verificarlo sin tener que esperar a que se produjera un eclipse. Tras consultar con otros astrónomos, Hale le respondía negativamente; y también esto tuvo su lado positivo. La carta de Einstein a Hale es interesante como documento personal, sobre todo teniendo en cuenta que la escribió después de ser invitado a ir a Berlín, pero antes de marcharse de Zurich. En dicha carta, Einstein dice que escribe por consejo de su colega, el profesor Maurer. Como se ve en la fotografía de la costa, reproducida en la página siguiente, Einstein consiguió que Maurer escribiera una nota (en un inglés no muy ortodoxo) en estos términos: «Muchas gracias anticipadas por atender la consulta del Dr. Einstein, distinguido colega de la escuela Politécnica.» Para darle más realce, Maurer colocó sobre su firma el sello oficial del centro. Era evidente que Einstein tenía enorme interés en la consulta y que, con su innata modestia, pensaba que sólo su nombre no tendría el

peso suficiente. Así era Einstein. Dadas las circunstancias, cabía esperar que pusiera especial cuidado en la presentación del texto. Sin embargo, como puede verse, hay algunas palabras tachadas y cambiadas por otras.



Carta de Einstein a George Hale (14 de octubre de 1913) en la que le pregunta si era posible detectar la curvatura gravitatoria de los rayos de luz sin esperar a que se produjera un eclipse de Sol. El «Ans» que aparece arriba a la izquierda está escrito por Hale; significa que la carta está contestada («answered»).

Está claro que sólo le interesaba el contenido, no la apariencia externa. También esto refleja la forma de ser de Einstein.

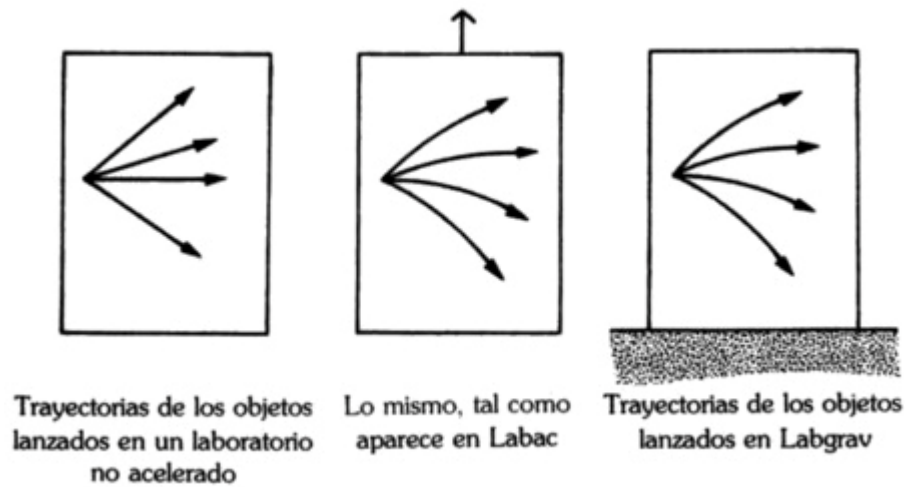
Incluso sin la confirmación experimental, Einstein tenía fe en su principio de equivalencia. Era plenamente consciente de que sólo constituía un esbozo aproximado e imperfecto, un tanteo inicial en el camino de algo vagamente percibido pero todavía no formulado. Pero en el fondo de su corazón sabía que contenía importantes conceptos estéticos y físicos que debían servirle de guía. En primer lugar, tenía unidad artística: ¿por qué suponer, innecesariamente, que había un tipo de relatividad para los efectos mecánicos y otro diferente para el resto de la

física? Además, constituía para él la confirmación definitiva de que no perseguía una quimera al intentar demostrar que todo movimiento era relativo. Por otra parte, le demostraba que la realización de su deseo debía llevar a una teoría de la gravitación que no estuviera encerrada en los límites de la teoría especial de la relatividad. Y como si esto no fuera suficiente, podremos comprobar personalmente la extraordinaria precisión con que el principio de equivalencia le llevó a la teoría general de la relatividad. Todo ello, a partir de una repentina intuición sobre la igualdad entre la masa inerte y la masa gravitatoria en la teoría de Newton. No queremos decir que Einstein no cometiera errores al avanzar por este camino. Pero su intuición le permitió siempre volver al buen camino.

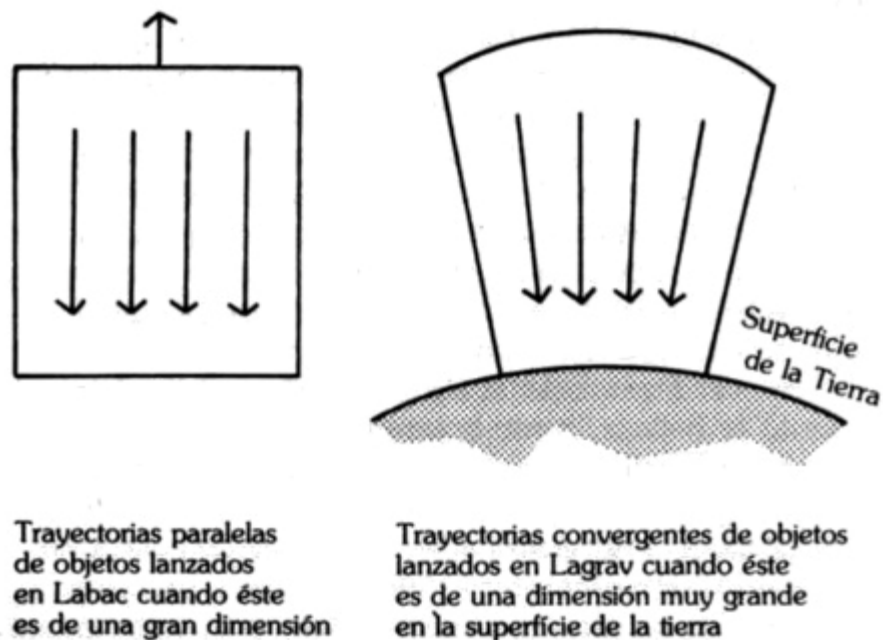
Una obra maestra de la ciencia no se construye de la noche a la mañana. A Einstein le quedaba todavía mucho por hacer. ¿Hacia dónde debía orientar sus siguientes pasos? El objetivo elegido fue la gravitación en cuanto que afecta a la velocidad de la luz, pues esto trascendía ya la teoría especial de la relatividad, en que la velocidad de la luz era constante e idéntica para todos los observadores. Además, desde hacía más de un siglo, los físicos sabían que la ley de la gravitación sobre la acción a distancia se podría expresar mediante una sola ecuación «de campo» que regulaba una sola cantidad matemática variable llamada *potencial gravitatorio*. ¿Por qué no dejar que la velocidad variable de la luz desempeñara el papel relativista de este potencial gravitatorio newtoniano? Era una idea clara y unificadora que ejercía gran atractivo sobre Einstein. Pero tras trabajar en ella se convenció de que no era posible conseguir tan fácilmente una teoría convincente de la gravitación. Esta escaramuza fue el prelude necesario para un avance importante. Si la velocidad variable de la luz no servía para representar matemáticamente la gravitación, ¿qué podría hacerlo?

Refresquemos la memoria y volvamos a Labac y Labgrav. Si Labac no estuviera acelerado, las partículas libres se moverían dentro de él en líneas rectas de velocidad constante, pues así lo dice la ley de la inercia, primera de las leyes del movimiento de Newton. Si se produce aceleración, estas mismas partículas libres, sin cambiar de movimiento, darían en Labac la impresión de estar cayendo, como si

estuvieran en Labgrav, sometidas a la influencia de la gravedad.



Einstein tenía un plan de ataque. Veámoslo en forma simplificada. En primer lugar, se expresa la ley de la inercia en su forma relativista, que dice que en el espacio-tiempo las líneas universales inmóviles de las partículas libres son rectas.



Entonces, mediante una transformación matemática se representa la situación en Labac. Automáticamente, deberíamos obtener la representación de la situación

física en Labgrav, y de esta manera se podría dar con una pista sobre la forma de tratar matemáticamente la gravitación.

¿Por qué sólo una pista? ¿Por qué no una teoría plenamente desarrollada? Porque los resultados podrían indicarnos únicamente los efectos locales de la gravitación. Si Labac y Labgrav fueran muy grandes, ya no serían debidamente equivalentes, como veremos fácilmente observando el siguiente diagrama, donde se compara un Labac de gran tamaño situado en el espacio con otro gran Labgrav situado en la superficie curva de la Tierra.

Sin embargo, una pista es más que nada, y todas las pistas son valiosas cuando el camino es poco claro. Y cada vez parecía serlo menos, pues Einstein tenía que hacer frente a una multitud de dificultades relacionadas entre sí. La deformación del tiempo por la gravitación le demostraba que también el espacio, con su estrecha vinculación relativista con el tiempo, debía resultar deformado. Además, la transición al laboratorio acelerado implicaba una distorsión del sistema de coordenadas del espacio-tiempo, análogo cuatridimensional de las líneas de un papel cuadriculado- y estas distorsiones implicaban que las coordenadas no podían relacionarse ya directamente con los relojes y criterios de medida habituales. Privado de contacto directo con las mediciones físicas, Einstein se sintió totalmente perdido. Tuvo que pasar mucho tiempo antes de que se diera cuenta de que también aquí había una pista, y muy clara. Tenía que volver a examinar todo el problema de las coordenadas y de la medición, y la tarea no resultó nada fácil.

Lo que le permitió avanzar fue una importante intuición que se presentaría pasado algún tiempo. Veamos lo ocurrido sirviéndonos de una analogía. Dos coches chocan. La policía anota las «coordenadas», el lugar y el tiempo- del accidente. Supongamos que el lugar es la intersección de la calle 20 con la avenida 15. Inmediatamente nos imaginamos una ciudad trazada en forma de papel cuadriculado, en la que las coordenadas 20 y 15 nos permitirían indicar con precisión la distancia que hay al lugar del accidente desde el cuartel de la policía situado entre la calle 5 y la avenida 6. Pero supongamos que en la descripción del accidente se dice que ha ocurrido en la intersección de la travesía Olite con la calle

Beire, y que el cuartel de policía está situado entre el pasaje Boston y la Cuesta de la Sal. Con estas coordenadas nos imaginamos una ciudad laberíntica cuyas calles no son ni rectas ni distribuidas de forma regular; y sin un mapa que refleje adecuadamente todos estos datos, no tenemos la menor idea de ninguna de las distancias.

¿Ni la menor idea? Eso no es totalmente cierto. Sabemos que los dos coches estaban separados por una distancia y un tiempo equivalentes a cero en el momento en que chocaron. «Bueno, dirá alguien-, pero eso es tan trivial que no vale la pena ni decirlo.» Eso es precisamente lo que constituyó la revelación de Einstein. Las coordenadas del espacio y el tiempo son meras etiquetas. La física, de la que tenemos un ejemplo en la colisión de los dos coches, se ocupa en último término de acontecimientos coincidentes, y cualesquiera que sean las coordenadas utilizadas, los hechos coincidentes aparecerán siempre como tales.

Una vez formulada, la afirmación parece obvia. Pero ahí radica precisamente su belleza, como ocurre con muchas de las profundas intuiciones a que llegó Einstein tras dura lucha. Ahora podía seguir avanzando hacia su teoría general de la relatividad. Para que todo el movimiento fuera relativo, parecía necesario admitir toda clase de sistemas de coordenadas, por muy deformados que estuvieran, y aunque pareciera casi imposible determinar su relación con la medición directa. Einstein, por varias razones, concluyó que no podía tener favoritismos: las ecuaciones de la física deberían expresarse de tal manera que todos los sistemas de coordenadas espaciotemporales estuvieran en condiciones de igualdad, requisito que más tarde denominó *principio de covarianza general*.

En Praga no avanzó demasiado en la aplicación de este principio. Veía ante sí gravísimos problemas matemáticos, y a su vuelta a Zurich, en 1912, dio lo que resultó ser el paso más adecuado para resolverlo: buscó la ayuda de un experto. En una carta del 29 de octubre de 1912 escribía: «...Trabajo exclusivamente en el problema de la gravitación y ahora creo que superaré todas las dificultades con la ayuda de un matemático con quien tengo amistad. Pero puedo decir una cosa: que nunca en mi vida había trabajado tanto y que he llegado a adquirir gran respeto por

las matemáticas, cuyos aspectos más sutiles había considerado hasta ahora, en mi ingenuidad, como puro lujo. Comparada con este problema, la teoría original de la relatividad es un juego de niños.»

El colaborador a quien hacía referencia era ni más ni menos que su íntimo amigo Marcel Grossmann, a quien Einstein acudía una vez más en busca de ayuda en un momento difícil. La suerte, o el destino- quiso que Grossmann se hubiera especializado en un campo de las matemáticas que respondía perfectamente a las necesidades de Einstein en aquel momento, y sin la importante ayuda de su amigo, Einstein habría tardado mucho más en llevar a buen puerto la teoría de la relatividad general. No obstante, aquella colaboración debió resultar extraña, pues Grossmann, que no podía dejar de ser un matemático convencido, tenía una forma de ver las cosas muy distinta de la de su amigo físico. Tenemos una ilustración muy clara en una anécdota narrada por Einstein en sus «Memorias», escritas poco antes de su muerte con destino a un volumen en que se conmemoraba el primer centenario de la fundación del Politécnico de Zurich. Hablando de sus días de estudiante, Einstein decía: «Grossmann me hizo una vez un comentario tan encantador y tan característico que no puedo resistirme a citarlo: "Reconozco, dijo Grossmann- que, después de todo, la física me ha enseñado algo importante. Antes, cuando me sentaba en una silla y notaba que mi antecesor la había dejado caliente, sentía un pequeño escalofrío. Ahora ya no me ocurre tal cosa, pues la física me ha enseñado que el calor es algo completamente impersonal".»

Recordemos que el problema matemático con que se enfrentaba Einstein era el de dar con las ecuaciones que se conformaran al principio de la covarianza general. Al parecer, un colega de Praga le había dicho que existía ya la herramienta matemática adecuada para ello. Pero sólo en Zurich, con la generosa ayuda de Grossmann, comenzó Einstein a utilizarla. No era una materia fácil de manejar. Ahora se conoce como *cálculo tensorial*, y fue desarrollado sobre todo por el matemático italiano Gregorio Ricci, quien dio el paso decisivo para su desarrollo en 1887, el año del experimento ya citado de Michelson-Morley y del descubrimiento del efecto fotoeléctrico.

Como las ecuaciones no tienen preferencias entre los sistemas de coordenadas, servían perfectamente a las necesidades de Einstein. Con ellas, y con ayuda de Grossmann, podía realizar su plan de campaña para descubrir la entidad matemática que le permitiera representar la gravitación. Comenzó con las líneas universales rectas en el espacio-tiempo. Al señalar el efecto matemático de la transferencia a Labac, había concluido ya que la velocidad de la luz no era constante, sino que estaba vinculada a la gravitación. Entonces escribió las ecuaciones correspondientes a las partículas libres cuando c no era constante, incorporando así una forma primitiva de la teoría gravitatoria que andaba buscando. Y luego, recurriendo a coordenadas deformadas muy generales, llegó directamente a un tensor de gran importancia geométrica. Se llama *tensor métrico*.

Veremos su función con un ejemplo bidimensional. En la superficie bidimensional de un océano en calma, solemos indicar la situación mediante dos coordenadas que llamamos *longitud* y *latitud*. Supongamos que un barco hace un corto viaje y que sabemos sus latitudes y longitudes iniciales y finales. Si el barco siguiera el camino más corto, podríamos calcular directamente, por un sencillo procedimiento algebraico, la distancia realmente recorrida sobre la superficie, aun cuando ni el cambio de latitud ni el de longitud sean una distancia. Lo que nos permite convertir estos pequeños cambios combinados de coordenadas directamente en la distancia recorrida es el tensor métrico perteneciente a la superficie bidimensional. En 1827, mucho antes de que se conociera la idea de los tensores, el gran matemático alemán Karl Gauss había demostrado en Gotinga que este tensor métrico contiene una información geométrica más profunda. Si realizamos con él una operación matemática algo complicada, nos dice que estamos en una superficie curva parecida a un fragmento de esfera, y no en una superficie curva parecida a una silla de montar, ni lisa como si fuera un plano. Es sumamente importante que nos diga todo esto de forma intrínseca, sin hacer referencia a ninguna realidad exterior a la superficie.

Si la intuición de Einstein no le engañaba, si su principio de equivalencia, todavía sin verificar, era digno de confianza, el tensor métrico del espacio-tiempo

cuatridimensional, tensor que establecía una conexión entre las coordenadas y las mediciones, debería ser la realidad que representa la gravitación. De ahí se deducía la profunda conclusión de que la gravitación debía ser algo fundamentalmente geométrico.

Dada la nueva función gravitatoria del tensor métrico, Einstein y Grossmann lo representaron con la letra g ; y como el cálculo tensorial exigía que llevara dos subíndices, la representación completa fue $g_{\mu\nu}$. Cuando Einstein decidió utilizar $g_{\mu\nu}$ para representar la gravitación, dio un paso de gigante. Como ya hemos dicho, la teoría newtoniana de la gravitación se podía expresar mediante una sola ecuación de campo para un potencial de gravitación único. Pero la notación tensorial está concentrada, y en las cuatro dimensiones el símbolo $g_{\mu\nu}$, en apariencia tan inofensivo, representa diez cantidades matemáticas. Él tremendo salto, de uno a diez potenciales gravitatorios, suponía una audacia extrema. Y, como consecuencia de esta audacia, Einstein se enfrentaba ahora con la tarea de encontrar diez ecuaciones correspondientes del campo gravitatorio, de las que nos ocuparemos repetidas veces.

En 1913, Grossmann y él publicaron un artículo conjunto en el que daban cuenta de sus investigaciones. La parte física corrió a cargo de Einstein, mientras que Grossmann se ocupaba del aspecto matemático. En 1914, publicaron otro artículo. Vistas las cosas retrospectivamente, es muy doloroso comprobar lo cerca que estuvieron los dos colaboradores de conseguir su objetivo. Tenían prácticamente todos los ingredientes matemáticos necesarios, y, como señaló Einstein más tarde, habían pensado en las ecuaciones de campo adecuadas, pero las habían rechazado por lo que consideraron entonces razones poderosas. De hecho, como todavía no se habían resuelto en su mente los complejísimos problemas de la interpretación física, Einstein creía que había demostrado que, al poner a todos los sistemas de coordenadas en plano de igualdad, se entraría en conflicto con la idea de causalidad. En un pasaje clave de su primer artículo, los dos colaboradores se batieron en retirada en un aspecto estético: no admitieron ni siquiera los cambios de coordenadas que se pudieran considerar vinculados con la aceleración. No

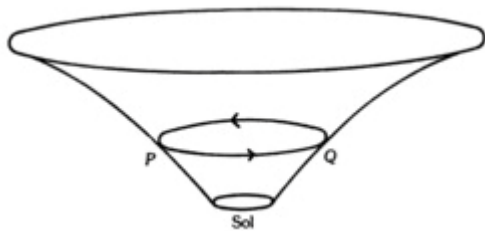
quedaron satisfechos, y en su segundo trabajo volvieron en parte a sus posiciones anteriores, pero sus cálculos no se ajustaban todavía al principio de la covarianza general. Más tarde, Einstein diría que había abandonado el principio de la covarianza general «con gran dolor de corazón».



El matemático Marcel Grossmann, amigo íntimo de Einstein, le proporcionó a éste algunos conocimientos muy útiles para su formulación de la teoría general de la relatividad.

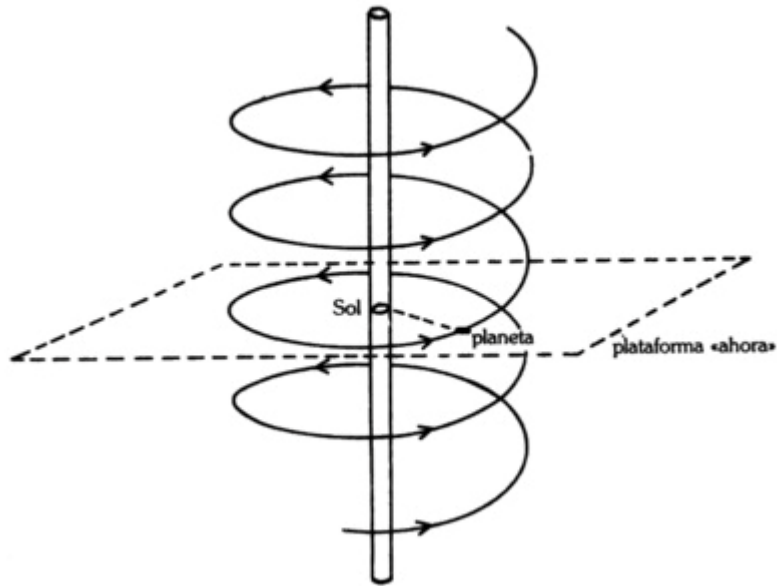
Cuando, en 1914, Einstein marchó de Zurich a Berlín, se interrumpió la colaboración antes de que hubieran logrado culminar la tarea. Sin embargo, su importancia fue incalculable, pues Grossmann había proporcionado a Einstein un importante equipo matemático especializado con el que podría defenderse en la lucha que tendría que seguir librando en Berlín.

encontrado las ecuaciones que buscaba. Su teoría, una vez descubierta, era de una sencillez majestuosa. La gravitación no aparecía tratada como fuerza sino como una curvatura intrínseca del espacio-tiempo. Los cuerpos pequeños, como los planetas, se movían trazando órbitas alrededor del Sol no porque éste los atrajera sino porque en el espacio-tiempo que rodeaba al Sol no había líneas universales rectas. Una línea recta se puede definir como la distancia más corta entre dos puntos. En el espacio-tiempo los movimientos de los planetas se representaban mediante *geodésicas*, análogas de las distancias más cortas. Por eso, los planetas, como las partículas libres, obedecían la primera ley de Newton, la ley de la inercia (en la medida en que esto era posible dentro de un espacio-tiempo curvo). Lo entenderemos mejor con dos diagramas. El primero indica, desde el punto de vista de una superficie bidimensional, el tipo de curvatura gravitatoria tridimensional del espacio que rodea el Sol; la curvatura está muy exagerada. Dada la curvatura existente, un planeta situado en P y que trate de moverse lateralmente en línea recta, no podrá hacerlo y seguirá el recorrido indicado por PQ. De esta forma se explica que un planeta trace una órbita alrededor del Sol.



El problema de este diagrama es que no reproduce ni el tiempo ni la curvatura del tiempo. Y aunque, en cierto sentido, es matemáticamente correcto, en otro es totalmente falso. El principal factor que influye

en el movimiento planetario no es la curvatura del espacio sino una curvatura del tiempo que, de hecho, puede estar relacionada con la velocidad cambiante de la luz en un campo gravitatorio. Esta vuelta sorprendente a la idea inicial de Einstein, esto es, ver en la velocidad de la luz el potencial gravitatorio- es una nueva prueba de su gran intuición. La curvatura del tiempo no es fácil de representar en un diagrama. No obstante, observemos la siguiente figura que incluye al tiempo como una dimensión que apunta hacia la parte superior de la página. La doble línea representa el Sol a través del tiempo, la línea universal del Sol.



La línea helicoidal representa la línea universal de un planeta, una geodésica en el espacio-tiempo curvo asociado con el Sol. Imaginemos que estamos en una plataforma que representa nuestro «ahora». En la medida en que nuestro «ahora» vaya penetrando en el futuro, la plataforma irá subiendo, no hay que olvidar que estamos representando el tiempo como una dimensión que apunta hacia arriba-, Al subir la plataforma, la hélice la irá atravesando en puntos sucesivos que en la plataforma parecerán un solo punto en órbita alrededor del Sol.

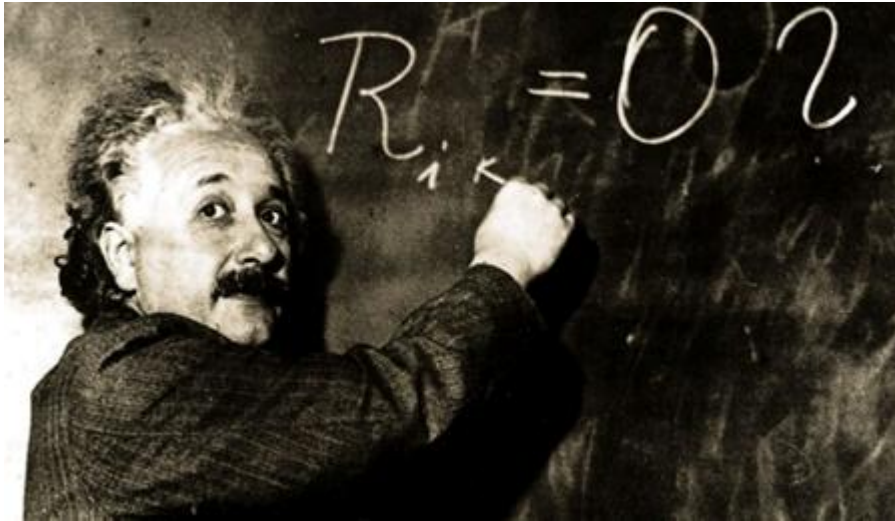
Estos diagramas son necesariamente imperfectos. Sin embargo, cada uno a su manera contiene una indicación de lo que ocurre de hecho y, si logramos integrarlos mentalmente, obtendremos una imagen no demasiado inexacta de las ideas einsteinianas.

¿Qué ocurre con las ecuaciones de Einstein que regulan la curvatura espacio-tiempo? Son diez, y su complejidad es enorme. Si se escribieran con todo detalle, en lugar de hacerlo con los signos abreviados, llenarían un grueso volumen con sus complicados símbolos. Hay en ellas algo que resulta de gran belleza y casi milagroso.

Quizá parezca ridículo hablar de belleza y de milagros después de indicar que las ecuaciones son feas y engorrosas. Pero examinemos la siguiente pregunta: ¿Cómo

consiguió Einstein dar con las ecuaciones? ¿Cabe alguna posibilidad de que adivinara los distintos términos, en realidad centenares de miles, o en alguna forma millones, y todos ellos muy áridos? Ninguna. Entonces, ¿cómo dio con ellos? Ahí es donde se produce esa especie de milagro estético. El cálculo tensorial contenía reglas muy rígidas. Por razones físicas, Einstein impuso algunas condiciones sin importancia que, en su mayor parte, respondían a un deseo de sencillez. Y cuando luego buscó diez ecuaciones tensoriales en que la gravitación estuviera representada *únicamente* por diez cantidades $g_{\mu\nu}$, comprobó que tenía las manos atadas. Por su insistencia en la sencillez, el cálculo tensorial no le dejaba opción donde elegir. Las ecuaciones de campo estaban determinadas de forma singular. En la representación tensorial estas ecuaciones están resumidas. Su fuerza y su misma naturalidad tanto en la forma como en el contenido les dan una belleza indescriptible. Supongamos que alguien las hubiera escrito plenamente desarrolladas, término por término. Un solo error de escritura en todo ese libro de términos, la omisión de un $1/2$ o la confusión de un 3 con un 2, haría que las ecuaciones no cumplieran la condición de covarianza general.

Comenzamos, pero sólo comenzamos- a ver aquí la verdadera magnitud de la intuición de Einstein. ¿Cuáles fueron las semillas que dieron lugar a esta estructura maravillosamente única? Entre otras cosas, la teoría de Newton y la teoría de la relatividad restringida, claro está, así como la idea de Minkowski de un mundo cuatridimensional, y las duras críticas de Mach a la teoría de Newton. También el marco matemático ya preparado, y del que hablaremos más adelante. Pero, y luego, ¿qué? El principio de equivalencia, el principio de covarianza general... y esencialmente nada más. ¿Por qué clarividencia mágica eligió Einstein precisamente estos dos principios como guía mucho antes de saber hasta dónde podían llevarle? Ya es asombroso que le hubieran llevado a ecuaciones únicas de naturaleza tan compleja y al mismo tiempo tan sencilla. Pero, una vez obtenidas, ¿de qué servían estas ecuaciones? Pronto se pudo hacer una prueba. El movimiento del planeta Mercurio no encajaba con la predicción newtoniana.

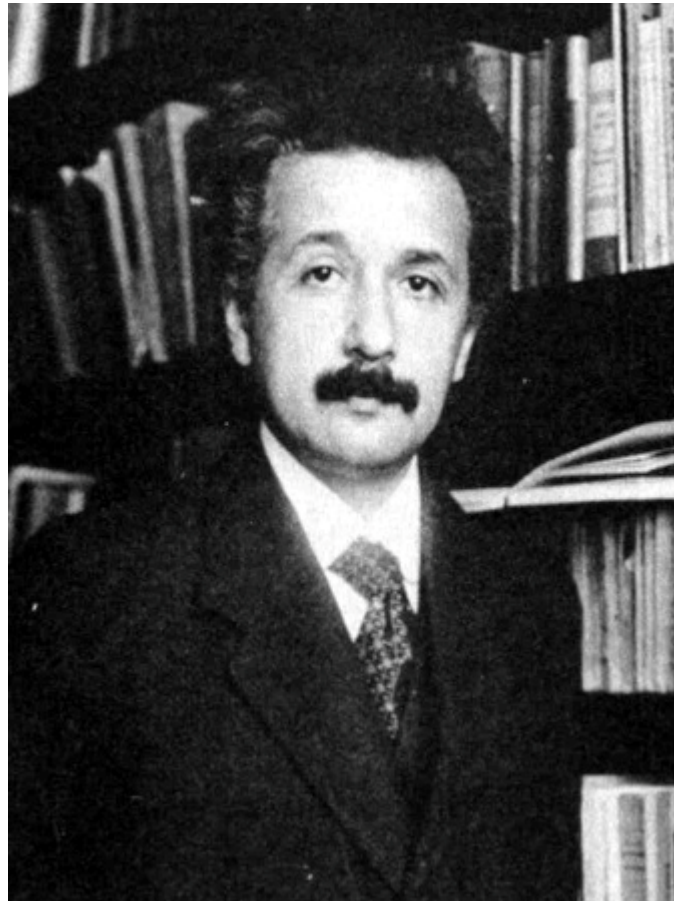


Einstein pronunciando una conferencia en Pasadena, en 1932. En el tablero aparece la fórmula $R_{jk} = 0$, forma tensorial de sus diez ecuaciones de campo para la gravitación pura.

Su perihelio, el punto de su órbita más próximo al Sol, avanzaba proco menos de 5.600 segundos de arco por siglo, y, aunque esto podía explicarse en gran parte, de una u otra manera, desde una perspectiva newtoniana, seguían sin poderse explicar entre 40 y 50 segundos de arco por siglo. (Cálculos más recientes y precisos dan un margen probable situado entre 41,5 y 54,5.)

En 1915, Einstein demostró que su nueva teoría admitía un avance adicional del perihelio de Mercurio que equivaldría aproximadamente a 43 segundos de arco por siglo. Este resultado sorprendente, expuesto ante la Real Academia de Ciencias de Prusia y publicado en sus *Actas*, fue la culminación gloriosa de muchos años de trabajo inspirado y tenaz. Hablando de ellos, Einstein dijo en una ocasión: «A la luz de los conocimientos actuales, parece inevitable que se llegara a dar con la conclusión acertada. Cualquier estudiante inteligente puede entenderla sin problemas. Pero los años de ansiosa búsqueda en la oscuridad, con un deseo intenso, con las alternancias de agotamiento y confianza y la final aparición de la luz, eso es algo que sólo pueden entender los que han atravesado esa experiencia.» En el cálculo del movimiento del perihelio de Mercurio no cabían trucos.

No había nada arbitrario que pudiera ajustarse caprichosamente para hacerlo coincidir con la realidad. No había margen de maniobra. Si el resultado no hubiera sido, por sí solo, una cifra próxima a 43, y, ¡ajo!, hacia adelante- la teoría se habría venido por tierra.



Einstein, en 1916.

En una carta de enero de 1916 dirigida a su querido amigo Paul Ehrenfest le decía: «Imagínate mi alegría ante la viabilidad de la covarianza general y al comprobar que las ecuaciones daban el movimiento correcto del perihelio de Mercurio. Durante varios días estuve fuera de mí, como en estado de éxtasis.»

Recordemos cómo el mismo Einstein había comentado el profundo respeto que llegó a sentir por las matemáticas. La única razón no estuvo en el cálculo tensorial. Los matemáticos, con su clarividencia especial, le habían preparado el camino más

de lo que él pensaba. La teoría de la relatividad general se oponía a la bella estructura euclidiana del «sagrado librito de geometría» que había fascinado al joven Einstein; y, en el centro de su teoría, se reflejaba un enfrentamiento con la validez estricta del teorema de Pitágoras, el famoso teorema que Einstein había conseguido demostrar con sus propias luces cuando no era más que un adolescente. Una de las coincidencias que unieron a Einstein con Grossmann fue el hecho de que éste hubiera conseguido su doctorado con un estudio sobre la geometría no euclidiana. Esta misma expresión muestra todo el camino recorrido por los matemáticos. Es cierto que la mayor parte de quienes estudiaban geometría elemental seguían pensando que era imposible reemplazar el sistema de Euclides. Además, Kant había afirmado que dicho sistema constituía una necesidad del pensamiento humano, y por tanto, era imposible pensar en rechazarlo. Pero el proceso de incubación era tan antiguo como Euclides y, sobre todo a partir de comienzos del siglo XIX, matemáticos audaces habían propuesto soluciones alternativas. Gauss había afirmado que, desde el momento en que Euclides tenía competidores, la geometría se convertía necesariamente en una ciencia experimental.

Resultan especialmente interesantes los trabajos realizados en Gotinga, a partir de 1854, por el matemático alemán Bernhard Riemann. Partiendo de las obras de pioneros como el húngaro Wolfgang Bolyai, el ruso Nikolai Lobachevski y Gauss, edificó un sistema geométrico general que es al de Euclides lo que una cadena de montañas a una llanura. En el caso de las superficies es posible lograr una representación visual de la audaz generalización de Riemann: pero, cuando hay tres dimensiones o más, sólo nos queda la vía de la comprensión matemática. Esta geometría multidimensional, de curvatura irregular, podía servir para responder a las necesidades de Einstein.

Además, como ya hemos dicho, Gauss había encontrado un complejo procedimiento matemático para extraer de un tensor métrico bidimensional informaciones sobre la curvatura intrínseca de la curvatura a la que pertenece. Riemann y Elwin Christoffel, cada uno por su cuenta, habían ampliado este

procedimiento a un número superior de dimensiones. Al hacerlo, y ya antes de la aparición del cálculo tensorial, habían descubierto una cantidad matemática muy eficaz que recibe en la actualidad el nombre de tensor de Riemann-Christoffel o el de tensor de curvatura. Procede del tensor métrico, y contiene los constituyentes esenciales de las ecuaciones del campo einsteiniano de la gravitación, determinadas de forma unívoca. Por otra parte, Riemann, y luego el matemático inglés William Clifford, habían dado la impresión de no estar en sus cabales cuando se arriesgaron a sugerir que la materia quizá no fuera, en definitiva, más que una curvatura del espacio. En cuanto a Christoffel, señalemos, como dato anecdótico, que era profesor en el Politécnico de Zurich cuando descubrió el tensor de curvatura.

¿Qué habría ocurrido si Riemann hubiera conocido el espacio-tiempo? ¿Habría considerado la materia como la curvatura de un espacio de cuatro dimensiones, en vez de tres? Podemos responder que sí, casi con toda seguridad. ¿Habría elaborado entonces la teoría einsteiniana de la gravitación? Vistas las cosas retrospectivamente, podríamos sentir la tentación de decir que sí. Sin embargo, las probabilidades de que así fuera eran infinitamente pequeñas. El camino de acceso a la teoría de Einstein era más físico que matemático, pero además, como rasgo característico, tuvo más de intuitivo que de físico. No podemos olvidar esto si queremos comprender la proeza de Einstein, pues no era una meta a la que pudiera llegar por la pura lógica. Como sabemos, se basó en el principio de covarianza general. Pero había tergiversado el principio de equivalencia hasta el punto de que algunos expertos, aun reconociendo su valor, se preguntan qué era lo que Einstein pensaba de verdad. En cuanto al principio de covarianza general, Einstein se equivocó al pensar que expresaba la relatividad de todo movimiento⁵. Y lo que es peor, el principio de covarianza general está, en cierto sentido, vacío de contenido, pues prácticamente *cualquier* teoría física matemáticamente expresable puede ponerse en forma tensorial, lo cual es cierto no sólo para la relatividad restringida,

⁵ Esta creencia se basaba en la confusión entre sistemas de coordenadas y marcos de referencia, confusión que, deliberadamente, no hemos intentado aclarar. Los problemas con que tenía que enfrentarse Einstein eran de una gran sutileza.

sino también para la teoría newtoniana.

Einstein lo reconoció, pero aseguró que el principio debía tener, a pesar de todo, contenido, si se quería llegar a las ecuaciones tensoriales más sencillas y bellas y adaptarse a las circunstancias. Y, de hecho, el golpe maestro consistente en exigir que la gravitación se representara *exclusivamente* mediante los diez $g_{\mu\nu}$ dio al principio de covarianza general, desde el punto de vista de Einstein- un contenido importante.

Viendo lo frágiles que eran los cimientos visibles en los que Einstein había apoyado su teoría, no podemos dejar de maravillarnos de la intuición que le condujo a la realización de su obra maestra. Esta intuición es lo que le transforma en un genio. ¿No eran también frágiles los fundamentos de la teoría de Newton? ¿Quiere eso decir que el resultado tiene menos importancia? ¿No se había basado Maxwell en un modelo mecánico que él mismo consideraba poco verosímil? Por una especie de adivinación, el genio sabe desde el primer momento, de forma vaga y velada, hacia dónde debe dirigirse. Y en su penosa marcha a través de lo inexplorado, su confianza se nutre de argumentos más o menos plausibles cuya función es más freudiana que lógica. Estos argumentos no tienen que ser necesariamente sólidos. Lo que hacen es fortalecer el impulso irracional, clarividente y subconsciente, que es el verdadero animador de la búsqueda. En realidad, no debemos exigir que estén plenamente justificados por una lógica estéril, pues el que realiza una revolución científica debe basarse en las mismas ideas que va a reemplazar. Por ejemplo, y por extraño que pueda parecer, no parece posible, en la teoría de la relatividad general, ofrecer definiciones inequívocas de la masa y de la energía.

La teoría de Einstein surgió en medio de una guerra confusa que ambos bandos podían ganar o perder. Pero casi desde el primer momento provocó una oleada de interés que llegó más allá del pequeño círculo científico al que estaba dirigida. En 1916, un editor alemán pidió a Einstein que escribiera una explicación de su teoría dirigida al gran público. El libro apareció en 1917. Utilizando únicamente los recursos de las matemáticas elementales, Einstein consiguió resumir la explicación

en setenta páginas lúcidas y encantadoras; si, a pesar de todo, no resultaron demasiado asequibles para el profano, la culpa no fue sólo de Einstein, a no ser que pueda reprochársele haber creado una teoría de tan formidable dificultad. En aquellas fechas Alemania estaba en guerra y el papel escaseaba, por lo que la edición fue muy reducida. Pero el libro vino a cubrir un hueco y a satisfacer una necesidad. Ya en mayo de 1918, en una Alemania acosada, bloqueada y hambrienta, el editor pensaba publicar una tercera edición. Sin demasiadas esperanzas, solicitó papel para tres mil ejemplares, y el gobierno alemán accedió a su petición.

La belleza intrínseca de la teoría de la relatividad general y la naturalidad con que se había obtenido el perihelio de Mercurio demostraron a Einstein que su intuición había sido correcta. Al referirse al perihelio en su obra de divulgación, y hablando en concreto de la desviación gravitatoria hacia el rojo y de la curvatura de la luz, decía; «Estoy seguro de que llegarán a confirmarse estas deducciones de la teoría»; y en las conversaciones con sus amigos reconocía su confianza en esta teoría. No esperó a que se produjeran nuevas confirmaciones para seguir avanzando decididamente. En 1916 y en 1917, año de la Revolución rusa y de la toma del poder por los comunistas, realizó dos importantes progresos científicos, el segundo de ellos relacionado con la teoría de la relatividad. Pero de momento los dejaremos de lado, para no interrumpir nuestro relato.

El resultado sobre el perihelio de Mercurio no era propiamente una *predicción*: la discrepancia newtoniana ya era conocida. Sin embargo, había dos predicciones de la teoría de la relatividad general, la desviación gravitatoria hacia el rojo y la desviación de la luz- cuya verificación serviría para convencer a otros científicos. Es significativo que la desviación del espectro hacia el rojo, que Einstein había deducido de su primitivo principio de equivalencia, tuviera prácticamente el mismo valor que el que dedujo de su teoría general de la relatividad. Pero todavía es más importante el hecho de que la desviación de la luz, según la nueva teoría, fuera el *doble* que en el primer cálculo. Efectivamente, para los rayos de luz estelar que rozaban con el Sol, Einstein preveía ahora una desviación de 1,7 segundos de arco.

La guerra había trastornado el carácter internacional de la ciencia. Ya no había libre intercambio de información científica entre los países en guerra. Pero la neutralidad de Holanda había sido respetada, y el astrónomo holandés Willem de Sitter siguió en contacto con su colega inglés

Arthur Eddington, de religión cuáquera. En 1916, De Sitter envió a Eddington una copia de un complicado artículo de Einstein en que explicaba la teoría general de la relatividad. A Eddington le entusiasmó. En un detallado informe oficial decía: «Independientemente de que sea correcta o no, debemos examinar atentamente esta teoría, por ser uno de los más bellos ejemplos de la capacidad de razonamiento matemático.»

En plena guerra, Eddington y Frank Dyson, astrónomo oficial inglés, planificaron con ayuda del gobierno dos expediciones, una a Sobral (Brasil) y otra a la isla portuguesa de Príncipe, junto a la costa occidental africana. El 29 de mayo de 1919, tal como había indicado Dyson, iba a producirse en dicho lugar un eclipse total de Sol especialmente favorable.

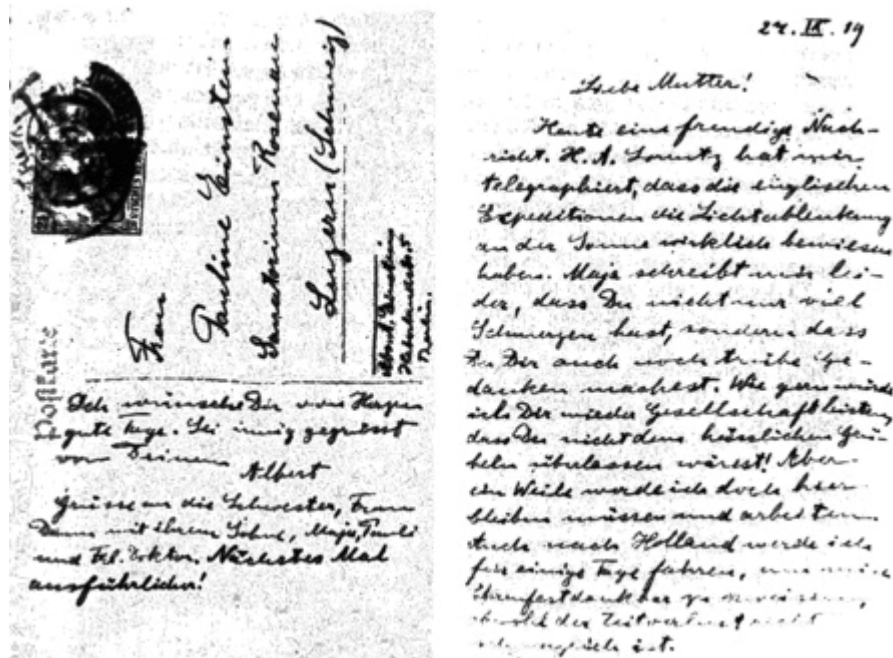
El objetivo de las expediciones era verificar la teoría de Einstein, desarrollada en la capital del bando enemigo.

A pesar del mal tiempo dominante en Príncipe, en su informe oficial Eddington escribió: «desde el 10 de mayo sólo llovió la mañana del eclipse»-, en algunas de las fotografías realizadas por Eddington y su ayudante a través del telescopio se veían estrellas en medio de las nubes. Impaciente, Eddington realizó mediciones micrométricas en las fotografías más claras y con gran satisfacción descubrió que confirmaban la nueva teoría. Más tarde dijo que aquél había sido el momento más importante de su vida.

Tuvo que pasar algún tiempo antes de llegar a una evaluación completa de los datos obtenidos en Príncipe y Sobral. Aunque habían cesado los combates, la guerra no había terminado oficialmente. La comunicación directa entre Inglaterra y Alemania era prácticamente imposible, y la comunicación indirecta experimentaba grandes retrasos. A comienzos de septiembre, llegaron hasta Einstein rumores de que los resultados del eclipse habían sido favorables, y el 22 de septiembre de 1919

Lorentz le envió un telegrama en que le confirmaba tales rumores. Einstein respondió con otro telegrama: «Muchísimas gracias a ti y a Eddington. Saludos.» Así, el 27 de septiembre Einstein tuvo la enorme satisfacción de enviar a su madre, enferma en Suiza, una tarjeta postal en la que decía: «Querida madre: Hoy tengo buenas noticias. H. A. Lorentz me ha comunicado que las expediciones inglesas han confirmado la desviación de la luz en las proximidades del Sol...»

Pero la noticia no era todavía oficial. El 6 de noviembre de 1919 se celebró en Londres una histórica reunión conjunta de la Royal Society y de la Royal Astronomical Society. En 1703, hacía más de dos siglos, Newton había sido elegido presidente de la Royal Society, y posteriormente fue reelegido todos los años hasta su muerte, acaecida más de veinte años después. Ahora, en 1919, estaba presente en las mentes de todos los científicos reunidos. Su retrato dominaba la escena desde un lugar de honor en la pared.



Postal enviada por Einstein a su madre contándole los resultados del eclipse (1919).

Sin embargo, aunque estaba de cara al público, tenía la vista desviada hacia la

derecha, como si estuviera sumido en la contemplación de misterios recónditos, mientras Joseph Thomson, descubridor del electrón, galardonado con el premio Nobel y presidente de la Royal Society, aclamaba la obra de Einstein como «uno de los mayores logros de la historia del pensamiento humano, por no decir el mayor de todos ellos», y el astrónomo real informaba oficialmente de que los resultados de las expediciones organizadas con ocasión del eclipse confirmaban la concepción de Einstein, no la de Newton.

La espectacularidad de aquel acontecimiento se vio subrayada por la guerra que acababa de terminar. Supongamos que no se hubiera producido la guerra y que Finlay-Freundlich hubiera logrado observar el eclipse de 1914, obteniendo una desviación de 1,7 segundos de arco en una fecha en que Einstein preveía una desviación de sólo 0,83 segundos de arco. O que, en América, Hale y sus amigos astrónomos hubieran llegado a descubrir, sin esperar al eclipse, que la desviación era el doble del valor previsto. En ese caso, el cálculo de 1,7 presentado por Einstein en 1915 habría parecido un resultado puramente conformista. No habría sido otra cosa que el reconocimiento de que sus cálculos iniciales habían sido erróneos y ahora reconocía los hechos. Casi todos habrían pensado que Einstein había hecho una maniobra hábil, y la desviación de la luz habría perdido el tremendo impacto que tuvo en cuanto predicción.

Pero se había producido la I Guerra Mundial, y la predicción de la desviación de la luz se había visto confirmada en circunstancias muy especiales, en un momento en que las naciones estaban cansadas de guerra y descorazonadas. Los rayos curvos de la luz estelar habían iluminado un mundo sumergido en la sombra, revelando una unidad entre los hombres que se imponía por encima de los conflictos bélicos. Los periódicos ingleses no hicieron demasiado por relacionar a Einstein con Alemania y comunicaron con gran entusiasmo la trascendental noticia, que rápidamente se difundió por otros países. En diciembre de 1919 Eddington escribía a Einstein diciendo: «...Toda Inglaterra está hablando de su teoría. Ha causado un impacto sensacional... Es lo mejor que podría haber ocurrido para mejorar las relaciones científicas entre Inglaterra y Alemania.»

El destino daba un giro imprevisto a los acontecimientos. La luz estelar, con su ligera desviación, había deslumbrado al gran público, y de repente Einstein se convirtió en una celebridad mundial. Este hombre esencialmente sencillo, buscador solitario de la belleza cósmica, era ahora un símbolo mundial, objeto de veneración... y de odios profundamente arraigados.

Capítulo 9

De príncipe a Princeton

La aclamación popular resultaba para Einstein tan incomprensible como su teoría para el profano. Las ventas de su librito se dispararon y en seguida aparecieron traducciones. En Inglaterra, el editor pidió al traductor inglés que redactara una breve nota explicativa para uso de los vendedores, que habían comprobado la gran ignorancia del público sobre el significado de la relatividad: al parecer, muchos pensaban que tenía algo que ver con las relaciones entre uno y otro sexo.

El 2 de febrero de 1919 el matrimonio de Einstein terminó en divorcio amistoso. Mileva recibió la custodia de los hijos y Einstein debería correr con los gastos de los tres. Einstein se comprometió también a entregar a Mileva el dinero del premio Nobel. La verdad era que todavía no se lo habían concedido, pero los dos estaban seguros de que algún día lo recibiría.

En Berlín, en los años de la guerra, pasó muchos días en casa del primo de su padre. Rudolf Einstein, cuya esposa era hermana de la madre de Einstein. Su hija Elsa era prima por ambas partes. Siendo niña había jugado muchas veces con Albert en Múnich. Al quedarse viuda se había trasladado a la casa de su padre con sus dos hijas. Use y Margot. En 1917, año en que Einstein tuvo una grave enfermedad gástrica. Elsa le atendió con gran esmero. Siempre había habido una fuerte unión entre ellos, y en junio de 1919 contrajeron matrimonio. Ella le cuidó como si fuera un niño sin experiencia, lo cual, en cierto sentido, era verdad, y le protegió de otras penas más profundas. Su madre tenía un cáncer incurable. A finales de 1919 fue con una enfermera a Berlín para pasar al lado de su hijo sus últimos días. Y allí murió en febrero de 1920. Einstein estaba inconsolable. A comienzos de marzo, en una carta dirigida a Max Born, que le había pedido su opinión sobre la conveniencia de abandonar su ciudad para aceptar una cátedra en Gotinga, Einstein escribía: «... Lo importante no es dónde resides... Además, soy un hombre sin raíces en ninguna parte, y no me considero la persona más indicada para dar consejos. Las cenizas de mi padre están en Milán. Enterré a mi madre aquí

hace pocos días. Yo mismo he estado siempre yendo de un lugar a otro; soy un extraño en todas partes. Mis hijos están en Suiza en circunstancias que no favorecen mucho que pueda verlos. Lo ideal para un hombre como yo es sentirse *en casa* en cualquier parte, rodeado de sus seres queridos y amigos. Por eso no tengo derecho a aconsejarte en este asunto.»



Estas siluetas de Einstein, de su esposa Elsa y de sus hijas Use y Margot fueron realizadas por el propio Einstein en 1919. Luego las pegó en la primera página de un libro infantil alemán. El viaje del pequeño Peter a la Luna, y se las envió como regalo de navidad al hijo pequeño de un amigo. Estaba muy orgulloso de su obra, en la que invirtió sólo dos horas.

Esta carta recuerda en parte a otra anterior. En 1919, poco antes de la proclamación oficial de los resultados del eclipse, Einstein, que realizaba una visita científica a Holanda, había pasado unos días muy felices con Ehrenfest y su familia. Más adelante, Einstein le escribió para darle las gracias y le decía: «De ahora en adelante seguiremos manteniendo un estrecho contacto personal. Sé que nos hace bien a los dos y que tanto tú como yo nos sentimos menos extraños en este mundo

gracias al otro.»

Su enorme fama impuso a Einstein obligaciones que su conciencia no le permitía eludir. Estaba en una situación singular para contribuir a superar los enfrentamientos entre naciones. La guerra había sido durísima, y cuando se interrumpieron los combates las pasiones seguían todavía muy enconadas, tanto entre los vencedores como entre los vencidos. Por ejemplo, en diciembre de 1919, la Royal Astronomical Society de Inglaterra decidió conceder a Einstein su medalla de oro de 1920, pero los miembros más «patrióticos» consiguieron los votos suficientes para impedir la ratificación de tal medida, con el resultado de que aquel año no se entregó ninguna medalla. La Royal Astronomical Society no conseguiría entregar su medalla de oro a Einstein hasta el año 1926.

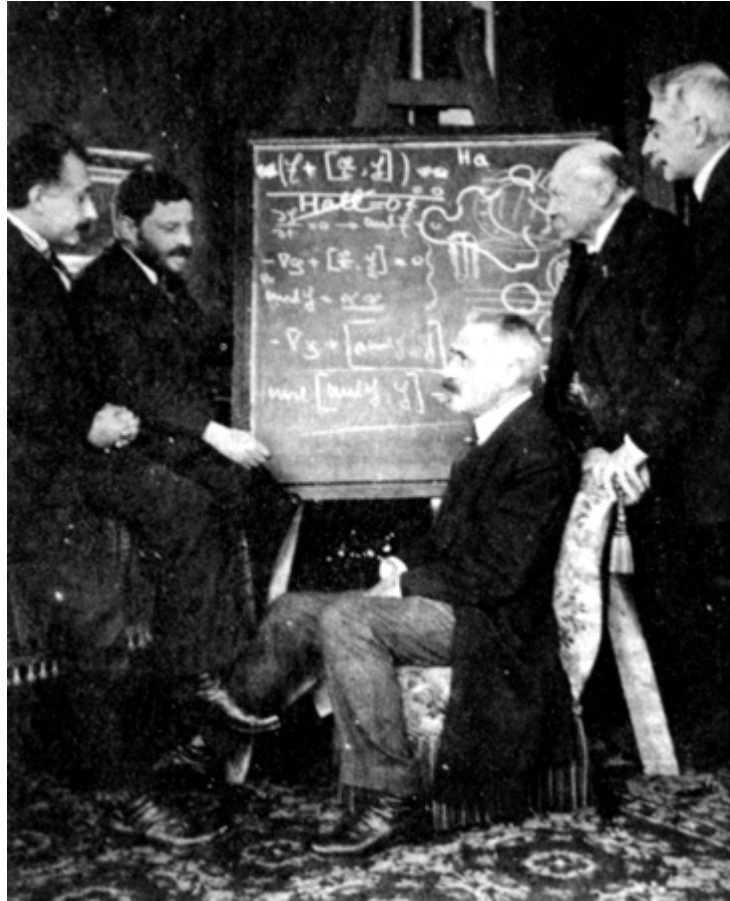
En 1918 el káiser abdicó del trono alemán y subió al poder un gobierno republicano. En las notas de Einstein para las conferencias semanales sobre la relatividad, correspondientes al invierno de 1918-1919, no aparece en el día 9 de noviembre ningún tema científico. Pueden leerse las siguientes palabras: «suprimida por la revolución». Detrás de este lacónico comentario se escondían acontecimientos turbulentos en los que, de forma periférica, Einstein tuvo una participación directa. Los revolucionarios de la Universidad de Berlín habían proclamado la deposición del rector, al que retuvieron cautivo. A Einstein, dada su categoría y sus inclinaciones socialistas, le llegaron peticiones de que interviniera, y con dos amigos, Born y el psicólogo Max Wertheimer, se presentó ante los dirigentes de los estudiantes rebeldes. Le preguntaron sus puntos de vista. No era persona dada al servilismo, sobre todo cuando estaba en juego algo que para él era cuestión de principios. Habló severamente sobre los peligros para la libertad académica, y sus palabras no fueron del agrado de los rebeldes. No obstante, enviaron a Einstein y a sus amigos al nuevo presidente de Alemania. Incluso dentro del caos revolucionario el nombre de Einstein abría todas las puertas. El propio presidente interrumpió urgentes asuntos de Estado para escribir un breve memorándum, y pronto se arregló el problema.

ambas ofertas. Sabía que se había convertido en un símbolo. En septiembre de 1919 escribió a Ehrenfest y le decía: «...Le prometí a Planck no alejarme de Berlín a no ser que las condiciones fueran tales que él considerara natural y adecuada la decisión... Sería una doble mezquindad por mi parte marcharme sin ninguna necesidad, precisamente en el momento en que comienzan a realizarse mis esperanzas políticas, y quizá *en parte* por motivos materiales, abandonando a un pueblo que me ha colmado de cariño y amistad, y al que mi marcha resultaría doblemente dolorosa en esta hora de humillación... (Tengo la impresión de ser una reliquia de una antigua catedral; nunca se sabe qué hacer con las cosas viejas...)» Sin embargo, Einstein aceptó trabajar en Leiden varias semanas al año sin abandonar su cátedra de Berlín.

A petición de *The Times* de Londres escribió un artículo sobre la relatividad, que se publicó el 28 de noviembre de 1919. En él ponía estas palabras conciliadoras: «Tras la lamentable interrupción de la antigua intercomunicación entre los hombres de ciencia, aprovecho gustoso esta ocasión de expresar mis sentimientos de alegría y gratitud hacia los astrónomos y físicos de Inglaterra. Como correspondía a las nobles tradiciones de la actividad científica en vuestro país, eminentes científicos han dedicado su tiempo y esfuerzos, y vuestras instituciones científicas no han ahorrado gastos, para verificar las consecuencias de una teoría que se desarrolló y publicó durante la guerra en territorio enemigo... Pero no debemos suponer que la enorme labor de Newton pueda ser desbancada por la relatividad o cualquier otra teoría. Sus grandiosas y lúcidas ideas conservarán su importancia singular para todos los tiempos en cuanto base de toda nuestra estructura conceptual moderna en el campo de la filosofía natural.» Al final del artículo Einstein incluyó este comentario irónico: «*Nota.* Algunas de las afirmaciones aparecidas en su periódico al hablar de mi vida y mi persona tienen su origen en la intensa imaginación del escritor. Al lector le gustaría ver otra aplicación del principio de la relatividad: hoy me consideran en Alemania como un "sabio alemán" y en Inglaterra como un "judío suizo". Si me quisieran representar como una *bête noire* sería, por el contrario, un "judío suizo" para los alemanes y un "sabio alemán" para los

ingleses.»

Las palabras de Einstein sobre Newton le salían del corazón. No eran un gesto diplomático, arte en el que Einstein, con su honradez instintiva, no progresó demasiado.



Einstein, Ehrenfest, Langevin, Kamerlingh-Onnes y Weiss en Leiden, hacia 1920.

Entre los papeles de Einstein apareció el siguiente cuarteto sin fecha, escrito quizá en 1942, fecha del tercer centenario del nacimiento de Newton, celebrado con gran solemnidad y numerosos discursos. Al parecer, Einstein no lo escribió para publicarlo sino para dar rienda suelta a sus sentimientos:

*Seht die Sterne, die da lehren
Wie man solí den Meister ehren
Jeder folgt nach Newtons*

Plan Ewig schweigen seiner Bahn.

Es un texto de difícil traducción. El contenido es, más o menos, el siguiente:

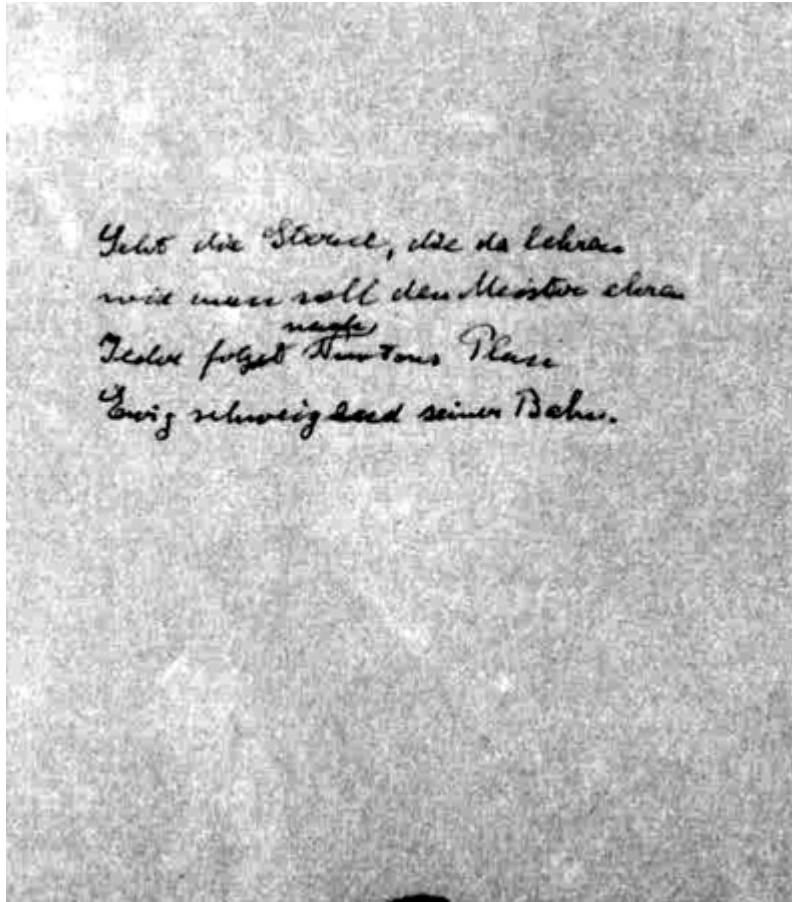
*Contempla las estrellas y
aprende de ellas la verdadera
forma de honrar al Maestro.
En su silencio eterno,
siguen su curso según
las leyes de Newton.*

The image shows handwritten mathematical work on the back of a page. At the top, there is a series of terms involving tensors and indices, such as $(A_{12} - B_{12} \xi^1 \xi^2) (A_{34} - B_{34} \xi^3 \xi^4) (A_{56} - B_{56} \xi^5 \xi^6)$. Below this, there are several lines of algebraic manipulation involving terms like $3A_{12} A_{34} A_{56}$, $(B_{12} A_{34} \xi^1 \xi^2 + \dots)$, and $(A_{12} B_{34} \xi^3 \xi^4 + \dots)$. The work concludes with a diagram showing a vector field \vec{v} and a coordinate system with axes ξ^1 and ξ^2 . The final result is $3A_{12} A_{34} A_{56} - B_{12} A_{34} r^2 - B_{34} A_{12} r^2 + (A_{12} B_{34} \cdot 0 + A_{34} B_{12} r^2 + 0) - (C_{12} C_{34} r^2 + C_{34} C_{12} r^2) + C_{12} C_{34} = 0$.

Cálculos que figuran al dorso de la página en que Einstein escribió el cuarteto sobre Newton.

Quizá sea éste el momento de examinar un documento escrito por el encargado de negocios alemán en Londres, unos nueve meses después de la aparición del artículo de Einstein en *The Times*. El 9 de septiembre el encargado de negocios informaba al ministerio de Asuntos Exteriores alemán: «Los periódicos ingleses han publicado los violentos ataques verbales dirigidos en Alemania contra el distinguido profesor

Einstein. Hoy, el *Morning Post* informa que Einstein tiene intenciones de abandonar Alemania y dirigirse a América.



Manuscrito del cuarteto de Einstein sobre Newton. La pequeña corrección indica que el cuarteto debió ocurrírsele casi de repente y prácticamente en su forma final.

Aunque, como es bien sabido en Inglaterra, ningún profeta es bien visto en su propia tierra, los ataques verbales contra Einstein y la campaña dirigida también desde Alemania contra famosos científicos ingleses... producen muy mala impresión aquí en Inglaterra. Más que nunca, Einstein constituye para Alemania un factor cultural de primer orden, pues su nombre es conocido en todas partes. No podemos expulsar a este hombre de Alemania; podríamos utilizarlo como efficacísimo medio de *Kulturpropagand*. Si Einstein está pensando realmente en marcharse de Alemania, sería mucho mejor para la reputación de nuestro país en el

extranjero tratar de convencerle de que se quedara.»

Algo había ocurrido en Alemania. Eso era evidente. Einstein era objeto de numerosos ataques. Siempre había hablado claramente en contra del militarismo alemán, y ni su pacifismo ni sus inclinaciones socialistas ni el hecho de ser judío, ni su fama le favorecerían demasiado a los ojos de los defensores fanáticos del nacionalismo alemán. Estos necesitaban desesperadamente una excusa para la derrota de Alemania, y echaron la culpa a los pacifistas y a los judíos. Empezaron a producirse incidentes desagradables. En 1920 se desarrolló en Alemania una campaña antisemita. Contaba con un fuerte respaldo económico y tenía como objetivo denigrar a Einstein y atacar su teoría, judía o comunista, según los casos, que había contaminado las fuentes de la ciencia pura alemana. Los organizadores gastaron el dinero a manos llenas. El 25 de agosto organizaron en el Palacio de Conciertos de Berlín una multitudinaria reunión contra la relatividad. Los periódicos alemanes se sumaron en seguida a la campaña. Indignados ante tal actitud, Laue, Nemst y Rubens intentaron combatir su irracionalidad publicando una declaración conjunta en la prensa. En ella deploraban los ataques personales a Einstein, defendían la relatividad y declaraban que, aun prescindiendo de esta teoría, Einstein era un físico de talla excepcional. El propio Einstein, hombre de temperamento ecuánime, que había asistido a la reunión como espectador, no pudo contenerse y escribió una respuesta pública no demasiado acertada. Los periódicos ingleses no habían exagerado cuando, para consternación del encargado de negocios alemán, informaban de los ataques a Einstein.

En este momento volvemos a encontrarnos con Lenard. Había obtenido el premio Nobel en 1905, el mismo año en que Einstein había utilizado, con gran provecho, las anteriores observaciones experimentales de Lenard sobre el efecto fotoeléctrico. Lo que éste sentía por Einstein era casi idolatría. En 1909, por ejemplo, le había escrito una efusiva carta en la que le calificaba de «pensador profundo y trascendental» y confesaba que tenía siempre sobre la mesa una carta que Einstein le había escrito en 1905. Pero el tiempo y los acontecimientos habían cambiado a Lenard. Se convirtió en uno de los más virulentos detractores de las obras de

Einstein, y sus ataques tenían toda la fuerza que le prestaba su prestigio científico. Su ofensiva comenzó en el Congreso de Científicos y Físicos Alemanes celebrado en Bad Nauheim en 1920, en una sesión presidida por Planck. La arremetida de Lenard tenía resonancias antisemitas, pero Planck, prevenido de antemano, logró evitar el desastre, aunque no pudo impedir que se produjeran fuertes enfrentamientos verbales entre Lenard y Einstein. Lenard sería con el tiempo miembro entusiasta del partido nazi, y sus ataques ganaron en virulencia con los años.

En el otoño de 1920, Einstein escribió a la comunidad judía de Berlín diciendo que no tenía intención de pagar el impuesto religioso: «Me considero totalmente judío, pero estoy muy lejos de las formas religiosas tradicionales.» Proponía, a cambio, hacer todos los años una donación para el departamento social de la comunidad. Cuando le dijeron que, igual que ocurría en los demás grupos religiosos de Alemania, cada judío estaba obligado por la ley a pagar impuestos a su comunidad judía, respondió: «Nadie puede ser obligado a pertenecer a una comunidad religiosa. Gracias a Dios, eso es cosa del pasado. De una vez por todas, quiero dejar bien claro que no tengo intención de formar parte de ningún grupo religioso oficial... y que me mantendré al margen de todos ellos.» Las discusiones se prolongaron hasta febrero de 1924, en que Einstein aceptó hacerse miembro de la comunidad, tras convencerse de que podía hacerlo únicamente en sentido cultural, no religioso.

Mientras tanto, ante el resurgir de un antisemitismo declarado, Einstein comenzó a darse cuenta de que su fama le imponía también una responsabilidad especial hacia los judíos. No podía marginarse ante sus sufrimientos y peligros. A pesar de su declarada aversión al nacionalismo, se persuadió de que debía apoyar el sionismo, el imposible sueño de Theodor Herzl de una patria judía que la guerra había estado a punto de convertir en realidad, por increíble que pareciera. Esta decisión de apoyar el nacionalismo judío no fue fácil para Einstein, pero veía en la patria judía la satisfacción de una necesidad psicológica, cultural y política de los judíos, un medio de aunar sus aspiraciones y de darles una nueva sensación de unidad. En

marzo de 1921, Chaim Weizmann, dirigente sionista que sería con el tiempo el primer presidente de Israel, envió desde Inglaterra un emisario que informó a Einstein de sus planes de crear una universidad hebrea en Jerusalén. Weizmann quería que el científico le acompañara en una visita que pensaba realizar a América para obtener fondos.



Einstein y Weizmann a su llegada a Estados Unidos en 1921.

La idea no resultaba muy atractiva para Einstein, que comunicó inmediatamente su negativa, diciendo que no tenía nada de orador y que los sionistas debían contentarse con utilizar su nombre. Pero se impuso su sentido del deber y casi sin demora transmitió su asentimiento, aunque ello significaba que tendría que renunciar al siguiente Congreso Solvay, el primero desde la guerra.

En cuanto se supo que Einstein tenía intenciones de viajar a América, los

presidentes de las distintas instituciones académicas le hicieron llegar una auténtica avalancha de invitaciones en las que le proponían conferencias, visitas y distinciones académicas. A comienzos de 1921 Einstein había pronunciado conferencias en Praga y Viena ante un público entusiasta. pero ambas ciudades pertenecían a países que no habían combatido contra Alemania durante la guerra. La visita a América representaba una nueva etapa en las relaciones de la posguerra. América había luchado contra Alemania. Sin embargo, los americanos recibieron a Einstein con un entusiasmo que éste no lograba entender. El 2 de abril de 1921, mientras el barco atracaba, los periodistas le asediaron a bordo. El alcalde de Nueva York organizó un recibimiento oficial, como si de un héroe de guerra se tratara. El presidente Harding le invitó a la Casa Blanca. Y, sobre todo, el ciudadano medio se encariñó con él, dejándose cautivar por su sencillez. En los círculos académicos fue recibido con cordialidad. La Universidad de Columbia le impuso una medalla, la Universidad de Princeton le hizo doctor *honoris causa*. Las cuatro conferencias allí pronunciadas por Einstein aparecieron en seguida en la traducción inglesa que la misma Universidad publicó en forma de libro con el título *The Meaning of Relativity*. La obra llegó hasta la sexta edición y todavía se sigue vendiendo. En una recepción organizada en su honor en Princeton, le rogaron que expresara su opinión sobre ciertos experimentos que parecían rebatir las concepciones relativistas y prerrelativistas. Respondió con un comentario, un credo científico-que se ha hecho famoso. Estaba presente el geómetra americano Oswald Veblen, que tuvo la precaución de anotarlo por escrito. Años más tarde, en 1930, cuando la Universidad de Princeton construyó un edificio especial para la sección de matemáticas, Veblen obtuvo autorización de Einstein para grabar en mármol aquellas palabras y colocarlas sobre la chimenea del salón de la facultad. La inscripción está en su original alemán: «*Raffiniert ist der Herrgott, aber boshaft ist er nicht*», que podría traducirse como «Dios es astuto y sutil, pero no malicioso.» En su respuesta a Veblen, Einstein explicaba lo que con ello quería decir: la Naturaleza oculta sus secretos porque es sublime, no porque sea tramposa. En cuanto a la recogida de fondos, la presencia de Einstein fue una baza muy fuerte

y se consiguieron millones de dólares para el Fondo Nacional Judío. Como dijo Einstein al volver a Berlín, «gracias a la incansable energía y al espíritu de sacrificio de los doctores judíos de América, hemos conseguido recaudar el dinero suficiente para la creación de una facultad de Medicina, y se han puesto ya en marcha los trabajos preliminares».

La visita a América impresionó profundamente a Einstein. Fortaleció su conciencia de judío y le confirmó en su intención de apoyar el sionismo, para alarma y nerviosismo de muchos judíos alemanes que basaban sus esperanzas en la asimilación con el resto de la población.

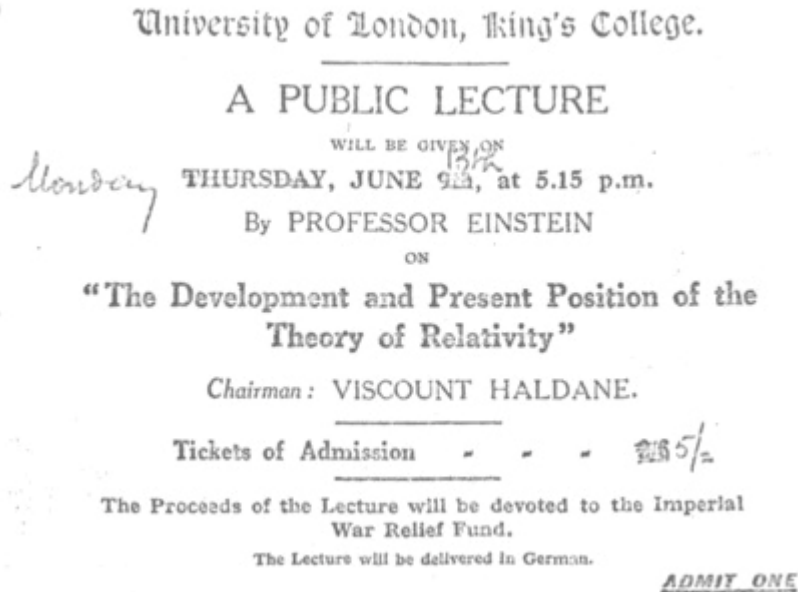


Einstein se dispone a recibir el doctorado honoris causa de la Universidad de Princeton, 1921.

En el viaje de vuelta desde América, se detuvo brevemente en Inglaterra, donde había recibido invitaciones para dar conferencias en la Universidad de Manchester y en el King's College de la Universidad de Londres. En este país había aún gran hostilidad hacia Alemania, y nadie podía prever de antemano lo que ocurriría con las conferencias. Einstein hablaba en alemán, la lengua del enemigo... y a pesar de todo, sus conferencias provocaron enorme entusiasmo.

Cautivó al público por la misma fuerza de su personalidad, por su naturalidad,

sencillez y humor, por el dominio de los temas que tocaba y por la indefinible aureola de grandeza que ni su timidez podía ocultar.



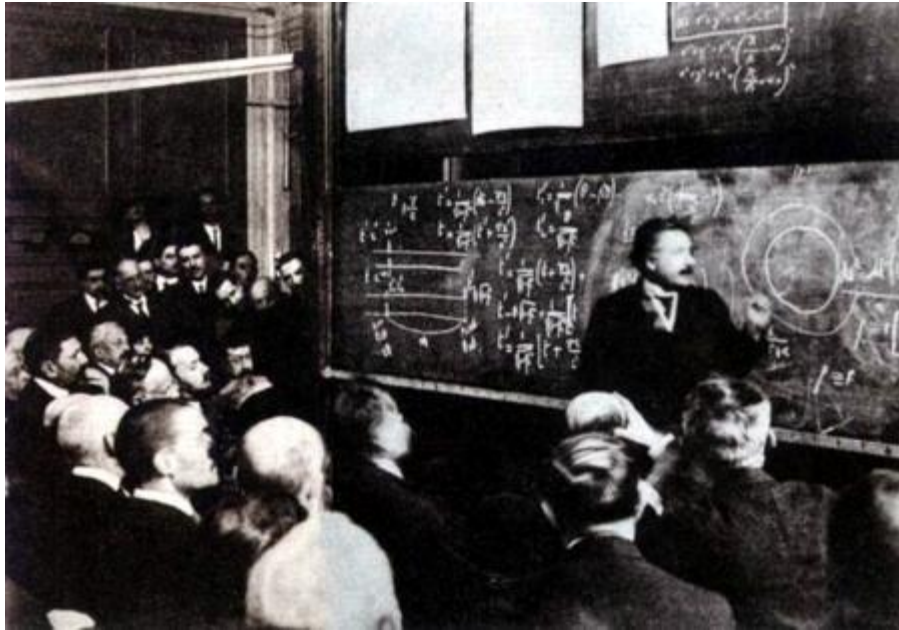
Entrada para la conferencia de Einstein en el King's College (Universidad de Londres), en 1921. Obsérvese el cambio de fecha, el aumento del precio, la indicación de que los ingresos irían a parar al Imperial War Relief Found y la advertencia de que la conferencia sería en alemán.

Durante su estancia fue tratado como un verdadero héroe del espíritu. La Universidad de Manchester le concedió el título de doctor *honoris causa*. En Londres, se alojó como invitado de honor en casa del estadista y filósofo vizconde Haldane. En ella y en todas partes Einstein conoció a muchos personajes distinguidos de la vida británica. Y en conjunto, tal como Haldane y Einstein habían esperado, la visita contribuyó en gran medida a la causa de la reconciliación internacional.

En junio de 1921 Einstein llegó de nuevo a Alemania, donde poco después el nuevo observatorio astronómico fue bautizado en su honor con el nombre de *Torre de Einstein*.

Entre los científicos que acudieron por entonces a Berlín a estudiar con Einstein

estaba el joven húngaro Leo Szilárd, con quien patentó un invento conjunto consistente en un mecanismo de refrigeración. Tendremos luego más noticias de Szilárd.



Einstein en el Collège de France, 1922.

En marzo de 1922, en gran parte gracias a los esfuerzos de Paul Langevin, que tuvo que luchar contra la fuerte oposición de algunos patriotas franceses, Einstein dio una serie de conferencias en el Collège de France, en París. Muy significativo del ambiente de amargura dejado por la guerra es el hecho de que fuera ésta la primera vez que Einstein podía dar una conferencia en Francia, y aun entonces tuvieron que tomarse considerables precauciones. Como él mismo recordaba en una carta de 1943: «Fue Walther Rathenau, ministro alemán de Asuntos Exteriores, quien me aconsejó encarecidamente que aceptara la invitación de ir a París, gesto que entonces se consideraba muy arriesgado.» En París, donde Einstein conoció a muchos políticos y científicos franceses, tuvo la sensación de que, con su visita, la causa de la reconciliación internacional había dado un nuevo paso. Tuvo además el placer adicional de ver a su amigo Solovine, de los tiempos de la Academia Olympia.

Pero en Alemania, por debajo de los acontecimientos de la vida cotidiana, se estaba incubando una amenaza. Estalló de forma violenta el 24 de junio de 1922, cuando activistas de derecha asesinaron a Rathenau, internacionalista y judío. Einstein era también internacionalista y judío; y en Alemania, como en Francia, su visita a París había producido fuertes resentimientos en algunos sectores. Había recelos nacionalistas contra él hasta entre sus colegas científicos alemanes. En las reuniones procuraban no sentarse a su lado, algunos por convicción, y otros por temor a que pudieran pensar que tenían amistad con él.

El Congreso de Científicos y Físicos Alemanes debía celebrar su centenario el mes de septiembre en Leipzig, con Einstein como principal orador. Pero el 5 de julio de 1922 éste consideró necesario escribir a Planck para que cancelara su intervención. En la carta decía: «Varias personas de toda confianza me han advertido seriamente, y de forma independiente, que por el momento procure alejarme de Berlín, y sobre todo, que evite toda aparición pública en Alemania. Parece ser que figuro entre las personas que los nacionalistas están dispuestas a asesinar. Cierto es que no tengo ninguna prueba concluyente, pero en las actuales circunstancias creo muy posibles tales amenazas. Si estuviera en juego alguna causa importante, no me arredraría por tales razones. Pero en el presente caso no se trata más que de una simple ceremonia oficial, y es fácil encontrar a otro (por ejemplo Laue) que pueda ocupar mi lugar. El problema es que los periódicos han mencionado mi nombre demasiadas veces, y de esta manera han movilizad a la chusma contra mí. No me queda otra alternativa que tener paciencia y marcharme de la ciudad. Te pido que te tomes este pequeño incidente con calma, como estoy haciendo yo...»

Durante cierto tiempo, Einstein escuchó las advertencias y se mantuvo retirado en Berlín, renunciando incluso a sus conferencias habituales. Pero el 1 de agosto apareció públicamente en una importante manifestación celebrada en Berlín contra la guerra, y con este gesto de audacia demostró que no se sentía intimidado, recuperando de nuevo su libertad. Sin embargo, no pronunció el discurso de apertura en el congreso de Leipzig.

En octubre de 1922, por invitación de un editor japonés, los Einstein hicieron una

visita a Japón, donde pasaron unas seis semanas. En un informe enviado a Berlín, el embajador alemán en Japón comparó la visita de Einstein con una comitiva triunfal. A su paso se formaban verdaderas multitudes deseosas de verle en persona. Fue recibido por la emperatriz. Los periódicos competían entre sí para informar de sus actividades, con tonos realistas o de ficción. Fue colmado de honores y de toda clase de regalos, y se dejó cautivar por el singular encanto de los japoneses. Años más tarde, un trágico cuarto de siglo más tarde- recordaba con intensidad esta visita a Japón, diciendo: «Me encariñé tanto con las personas y con el país, que al marcharme no pude contener las lágrimas.» La visita había constituido una especie de desahogo tras las tensiones sufridas en Berlín después del asesinato de Rathenau. El embajador alemán en Japón, aunque a veces sufriera por la indumentaria poco ortodoxa de Einstein, sentía gran atracción hacia él, y envió informes oficiales a Berlín en los que decía que, a pesar de todas las distinciones recibidas, seguía siendo un hombre modesto, cariñoso y sencillo. Evidentemente, Einstein era muy distinto de otras celebridades a quienes el embajador había debido acompañar en sus visitas.

Unos días antes que el barco en que viajaba Einstein, llegó a Japón la noticia de que se le había concedido el premio Nobel de 1921 «por sus servicios a la física teórica y, en especial, por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico». En el documento oficial no se mencionaba en concreto la relatividad. Todavía se consideraba como una doctrina polémica, tanto en lo científico como en lo político, pues no era fácil de entender y había recibido muchos ataques. La ley fotoeléctrica era también una afirmación arriesgada, pero tras los experimentos de Millikan estaba suficientemente verificada y podía considerarse como motivo suficiente, y seguro, para la concesión del premio.

Cuando el galardonado no puede estar presente en la ceremonia de entrega del premio Nobel, lo normal es que lo acepte en su nombre el embajador de su país en Suecia. Einstein quería que se encargara de ello el embajador suizo, pero los alemanes, conscientes de la importancia del acto, pusieron objeciones. Al final, el problema se solucionó con una maniobra diplomática que consistió en que el

embajador suizo en Alemania llevara personalmente el diploma y la medalla a Berlín, para entregárselos a Einstein. Cuando más tarde Einstein pronunció en Suecia el discurso de aceptación del premio Nobel, hizo caso omiso de las palabras del documento oficial de la concesión y habló de la teoría de la relatividad.

Einstein continuó con su «paseo triunfal» de Japón a Palestina, donde la bienvenida que le ofrecieron los judíos tuvo características especiales, subrayadas por el recuerdo de su tragedia milenaria. En Jerusalén, en el monte Scopus, emplazamiento de la futura universidad hebrea, pronunció una conferencia en francés y anotó en su diario de viaje: «Tuve que comenzar con un saludo en hebreo, que leí con grandes dificultades.» Fue tratado con gran respeto, y en su conferencia se le invitó a hablar desde «la cátedra que le está esperando desde hace dos mil años». Se sintió profundamente conmovido por las aspiraciones de los dirigentes judíos.



Einstein en Goteburgo. Suecia, con ocasión de la visita que realizó a este país para recibir el premio Nobel, en julio de 1923. El cuarto por la izquierda de la fila delantera es el rey Gustavo V de Suecia.

Sin embargo, al ver las oraciones angustiosas ante el Muro de las Lamentaciones y las ruinas de la gloria pasada de Salomón y de su templo, escribió en su diario:

«Una visión deplorable de hombres con pasado y sin presente.»

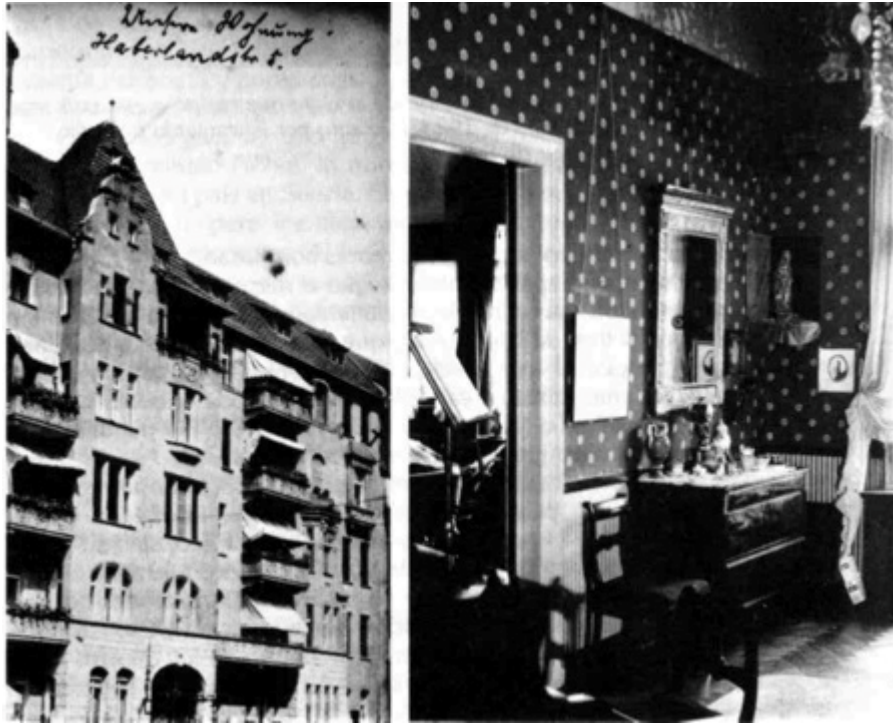
De Palestina fue a España, donde, según él mismo decía humorísticamente, siguió «silbando su teoría de la relatividad». De Madrid a la frontera francesa viajó en el tren de la casa real, que el rey había puesto personalmente a su disposición. Pero cuando el matrimonio llegó a territorio francés, de vuelta a Berlín, Einstein estaba ya harto de todo el boato y de los cumplidos que rodeaban a sus viajes, y dijo a su esposa: «Tú puedes hacer lo que prefieras, pero yo pienso viajar en tercera clase.»

Cuando llegaron a casa en la primavera de 1923, Europa mostraba señales de una tensión peligrosa. Los fascistas se habían hecho con el poder en Italia. Poincaré, no Henri, el matemático y físico, sino su primo Raymond, primer ministro francés- había enviado tropas a la zona alemana del Ruhr para obligar a Alemania a pagar las compensaciones de guerra. En consecuencia, ésta se vio sumida en una inflación desastrosa que privaría de todo valor al marco alemán, acabando con los ahorros de la población y contribuyendo a preparar el camino para la llegada del nazismo.

Sin embargo, en estos y en los años siguientes, Berlín fue el centro de una edad de oro del arte y de la ciencia alemanes, y Einstein estuvo allí la mayor parte del tiempo. Era bien conocido su amor a la música. Cuando el pianista Joseph Schwarz ofreció en Berlín un recital acompañado de su hijo Boris, que era un gran violinista a pesar de su juventud, un político que les oyó los envió a casa de Einstein, sabiendo que éste sentiría curiosidad por el joven violinista. El día señalado acudieron a su piso. Acompañado al piano por su padre, Boris comenzó el concierto de Bruch en sol menor. Cuando llegó al pasaje tan lírico y expresivo del primer movimiento, uno de los favoritos de Boris- Einstein exclamó de repente: «¡Ah! No se puede negar que le gusta el violín.» Y cuando terminaron el concierto, sacó encantado su propio violín y juntos tocaron tríos de Bach y Vivaldi. De este modo comenzó una amistad duradera, enriquecida por muchas sesiones musicales.

Es interesante escuchar los comentarios de un violinista profesional sobre la técnica musical de Einstein. Boris Schwarz decía que su tono era muy puro, con poco *vibrato*, pues no le gustaba el tono vibrante y sensual del siglo XIX. Esto encajaba

con las preferencias musicales de Einstein. Le encantaba la música del siglo XVIII: Bach, Vivaldi y Mozart, sobre todo Mozart.



Fachada de la vivienda de los Einstein en la Haberlandstrasse, 5, de Berlín. A la derecha, un rincón de la sala de música.

Beethoven, en su apasionado tono de do *menor*, le resultaba demasiado emotivo. Boris Schwarz añadió que Einstein tenía gran facilidad de lectura y que «llevaba muy bien el ritmo». Tocaba, según Schwarz, con tremenda concentración, inclinándose hacia adelante, con la cara pegada a la partitura. En la época que pasó en Berlín debió practicar incansablemente con el violín, sin importarle dedicar a ello varias horas seguidas.

De hecho, Boris Schwarz se cansaba mucho antes que Einstein, y dándose cuenta de ello, la señora Einstein acudía en su ayuda llevando el té.

Los Congresos Solvay, interrumpidos por la guerra, se habían reanudado en 1921, pero Einstein no pudo acudir en aquella ocasión por estar en América. En otoño de 1923, mientras se hacían planes para organizar otro Congreso Solvay en Bruselas,

en Bélgica había aún grandes resentimientos contra Alemania, que había violado nueve años antes su neutralidad.



Fotografía de Joseph Schwarz, Boris Schwarz y Einstein, con un autógrafo de este último. El pareado podría traducirse más o menos así: «El padre y el hijo no tocaban mal, pero que nada mal.»

Al enterarse de que no iban a invitar a otros científicos alemanes, Einstein insistió, a pesar de las repetidas peticiones de los organizadores, en que no le enviaran invitación. Dejó bien claro que no asistiría a un congreso científico del que se había excluido a otros científicos por el mero hecho de ser alemanes.

Con el paso de los años se fue desilusionando de la Sociedad de Naciones y de sus posibilidades de conseguir la paz mediante la concordia internacional. Se daba cuenta de que había ya poderosas fuerzas empeñadas en una dura batalla y de que no era posible convencerlas con simples debates.

Sin embargo, como miembro del Comité sobre Cooperación Intelectual, patrocinado por la Sociedad de Naciones, trabajó intensamente con sus colegas de

otros países, esperando contra toda esperanza en la posibilidad de conseguir algo tangible, aunque fuera insuficiente.



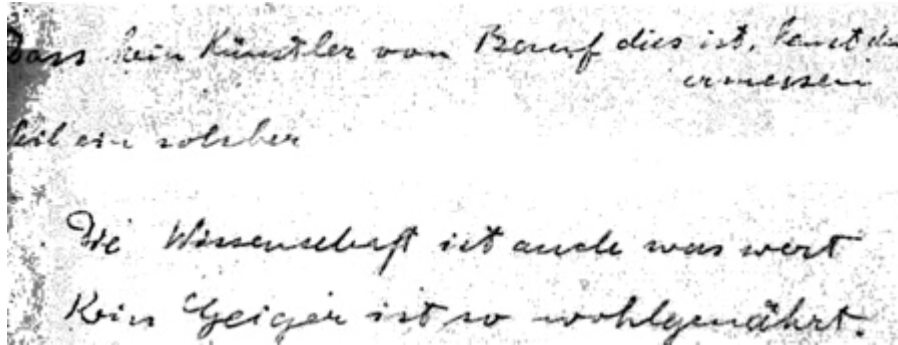
Litografía de Einstein por Emil Orlik. 1928.

Más tarde hablaría de este comité en los siguientes términos: «A pesar de contar con miembros muy ilustres, fue la empresa más ineficaz en la que he participado jamás.»

En 1928, estando en Suiza, cayó gravemente enfermo del corazón y fue trasladado de nuevo a Berlín.

Pocos meses después pudo abandonar la cama, pero tardó mucho en reponerse. Como antes, siguió apoyando con fuerza la causa del pacifismo. Por ejemplo, en 1928 publicó las siguientes palabras: «Nadie tiene derecho moral a llamarse cristiano o judío si está dispuesto a cometer un crimen siguiendo las instrucciones

de una determinada autoridad, o si se deja utilizar para la iniciación o preparación de tal crimen, en cualquier forma posible.»

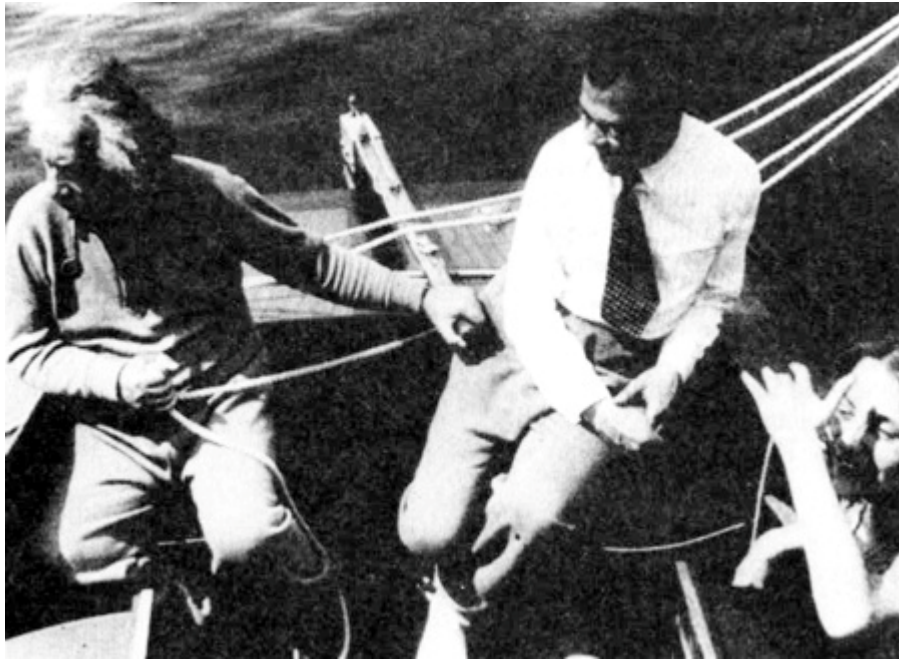


Manuscrito del pareado escrito por Einstein cuando le preguntaron su opinión sobre la litografía de Orlik. Aludiendo a la gordura con que se le había «obsequiado» en la litografía. Einstein dice: «Esto habla en favor de la ciencia, pues no hay violinista tan bien alimentado.»

Y en febrero de 1929, poco antes de cumplir los cincuenta años, se explicó de forma todavía más concreta y categórica: «En caso de guerra me negaría rotundamente a prestar cualquier servicio armado, directo o indirecto, y trataría de convencer a mis amigos de que adoptaran la misma postura, independientemente de lo que pudiera pensar sobre las causas de una guerra concreta.»

Su cincuenta cumpleaños, el 14 de marzo de 1929, fue un acontecimiento mundial, en el que, sin embargo, Einstein no participó. Consciente de lo que iba a ocurrir, se escondió para huir de las atenciones de sus simpatizantes y de los periodistas. No dejaron de producirse incidentes curiosos. Por ejemplo, en tan señalado día llovieron telegramas, cables y otros mensajes sobre su piso de Berlín, del que él había huido; pero entre los numerosos visitantes se presentó un funcionario de Hacienda, y no ciertamente a llevar algún regalo: quería hablar con Einstein sobre su declaración de la renta. Cuando le dijeron que era el cumpleaños de aquel gran personaje, se sintió avergonzado y se marchó confundido, pidiendo perdón por su torpeza. El sonrojo del funcionario de Hacienda debió ser uno de los cumplidos más espontáneos recibidos por Einstein aquel día.

También era del conocimiento público que a Einstein le encantaba relajarse recorriendo en vela el río Havel y los lagos próximos a Berlín, disfrutando del calor del sol y de la soledad, mientras su mente vagaba por el universo. Deseando complacerle, las autoridades de la ciudad de Berlín decidieron, mediante votación, ofrecerle como regalo de cumpleaños una extensión de terreno y una casa a orillas del Havel. Por desgracia, la casa estaba ocupada y no se podía disponer de ella.

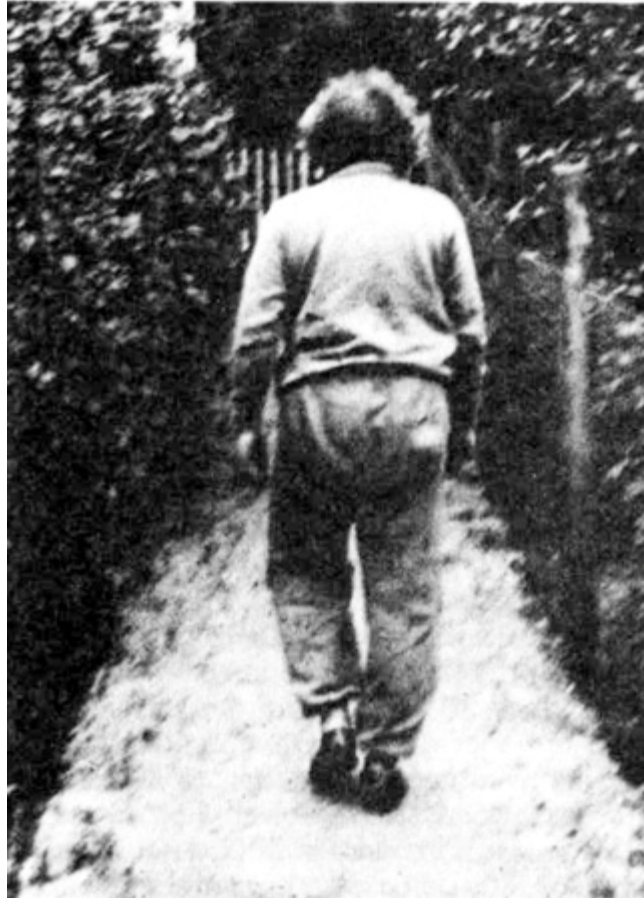


Einstein navegando en Caputh con su hija Use y su yerno Rudolf Kayser, hacia 1930.

Otros dos intentos de cumplir la promesa tropezaron también con inconvenientes grotescos, y decidieron solicitar a Einstein que contribuyera a resolver el problema seleccionando un terreno, que luego la ciudad adquiriría para él. Elsa Einstein encontró un lugar precioso rodeado de árboles, próximo al Havel, en Nemst, la ciudad de Caputh, un poco más allá de Potsdam.

Las autoridades de Berlín dieron su aprobación, y por fin parecía que estaban a punto de conseguir un final feliz. Pero el problema del pago por la ciudad de Berlín originó un enfrentamiento político que, por desgracia, comenzó a adquirir matices antieinsteinianos. Para entonces, el regalo de cumpleaños había perdido todo

atractivo, y Einstein puso final al problema declarando oficialmente su renuncia al regalo inexistente. Para cumplir los compromisos ya adquiridos, utilizó sus ahorros para pagar el terreno prometido y levantar allí una casa de verano.

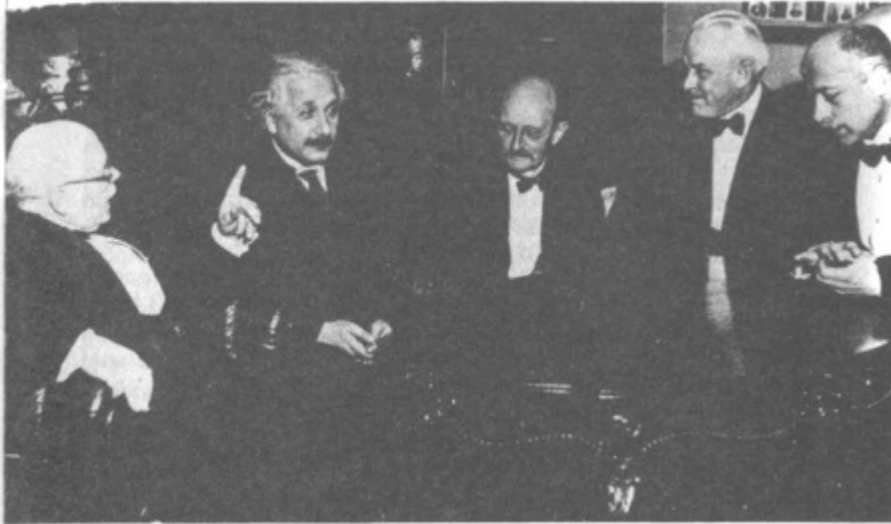


Einstein en Caputh, camino del embarcadero, hacia 1930.

Einstein tuvo que echar mano de todos sus ahorros. No obstante, había hecho una buena inversión. Era hombre poco amigo de convencionalismos en el trato y en la forma de vestir, y se encontraba más a gusto en aquel marco idílico que en los círculos académicos de Berlín. Los Einstein pasaron algunos veranos muy felices en Caputh, disfrutando del río y de su intimidad.

El invierno de 1930-1931, y el siguiente, los pasaron en Estados Unidos. Einstein acudió como profesor invitado al California Institute of Technology, en Pasadena, cuyo director era por entonces Millikan.

En primavera, Einstein se incorporaba a su puesto de Berlín, y en verano se marchaba a su retiro de Caputh. Pero, mientras tanto, habían sucedido acontecimientos dramáticos.



Einstein, Planck, Millikan y Laue en Berlín, 1931. Todos ellos recibieron el premio Nobel.

En el otoño de 1929 se produjo el pánico en la bolsa de Nueva York. Era el comienzo de una depresión económica mundial, de efectos profundos y duraderos. Muchos perdieron sus empleos; los jóvenes no conseguirían empezar a trabajar. La pobreza y la desesperación acechaban por todas partes, sobre todo en Alemania, donde constituyeron el caldo de cultivo para toda clase de demagogos. Los industriales alemanes, atemorizados ante una posible revolución comunista, apoyaron económicamente a los nazis, con la esperanza de poder controlarlos. En América, por aquellas fechas, dos filántropos judíos, Louis Bamberger y su hermana Félix Fuld, ofrecieron una importante ayuda económica a Abraham Flexner, especialista en educación, para que realizara su sueño de crear un Instituto de Estudios Superiores. Esta institución quería ser una comunidad de hombres destacados en el mundo de la ciencia, a los que se pagaría generosamente, sin que tuvieran más obligación que la de dedicar todas sus energías a su trabajo.

Gracias en parte a la ayuda económica de los industriales alemanes, los nazis experimentaron un rápido crecimiento. En enero de 1933 Hitler era ya canciller de Alemania, y el 23 de marzo del mismo año obtenía poderes dictatoriales. La libertad de expresión y la libertad en general fueron barridas de Alemania, reemplazadas por el terror.

Mientras tanto, en la primavera de 1932, Einstein, como en ocasiones anteriores, había viajado a Oxford. Allí, como ya había hecho antes en Pasadena, Flexner le expuso los planes sobre el Instituto de Estudios Superiores. Pero en esta ocasión Flexner fue más audaz. Le propuso la posibilidad de hacerse miembro del Instituto. En 1927 Einstein había rechazado una oferta muy interesante de Veblen, una cátedra en la Universidad de Princeton, aduciendo que tenía demasiados años para resistir un nuevo traslado.



La casa de los Einstein en Caputh.

Ahora, viendo el giro que tomaban los acontecimientos en Alemania, Einstein parecía más dispuesto a escuchar las sugerencias de Flexner, aunque no quería abandonar a sus colegas alemanes.

En verano, Flexner se desplazó a Caputh para seguir estudiando aquella posibilidad. Estaba muy interesado en obtener la colaboración de Einstein, hasta el punto de proponerle que fijara él mismo su salario.



Estudio de Einstein en su casa de Caputh.

Pocos días después, Einstein le escribió sugiriendo lo que, teniendo en cuenta sus necesidades y su fama, consideraba una cifra razonable. Flexner se quedó atónito. En comparación con lo que era habitual en los medios americanos, la cifra propuesta por Einstein era demasiado baja. No podría contratar muchos científicos americanos por aquel salario, y para Rexner, aunque quizá no para Einstein, era impensable que otros miembros del Instituto recibieran salarios superiores al del científico alemán. Tras las debidas explicaciones, Einstein aceptó a regañadientes una cifra mucho más elevada, y dejó los detalles en manos de su esposa Elsa, más impuesta en tales materias. Según el acuerdo, Einstein pasaría parte del año en el Instituto y el resto en Alemania. Pero antes tenía que cumplir su compromiso ya contraído de pasar un tercer invierno como profesor invitado en Pasadena. En esta

ocasión, cuando solicitó el visado, un reducido grupo de mujeres americanas patriotas se opuso públicamente a que se le autorizara a entrar en Estados Unidos, pues, según ellas, era un hombre de convicciones comunistas. El respondió en tono irónico:

«Nunca había encontrado en el bello sexo una negativa tan firme a mis propuestas, o al menos nunca me había rechazado al mismo tiempo un grupo tan numeroso.

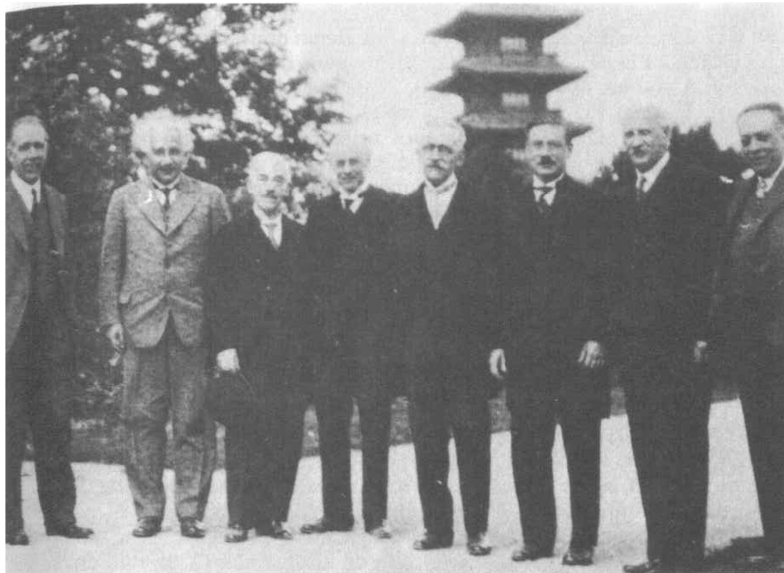
«Pero, ¿no estarán en lo cierto estas vigilantes ciudadanas? ¿Por qué abrir las puertas a un hombre que devora insensibles capitalistas con el mismo apetito con que el Minotauro de Creta devoraba apetitosas doncellas griegas, y que, además, es tan perverso que condena todas las guerras, menos la guerra inevitable con la propia esposa?»



Einstein con su hijo Albert y su nieto Bernhard, hacia 1930.

Escuchad, pues, a vuestras inteligentes y patrióticas mujeres y recordad que el Capitolio de la poderosa Roma se salvó en una ocasión gracias al cacareo de unas fieles ocas.»

En relación con sus opiniones sobre el comunismo ruso, hay que resaltar que Einstein no era persona capaz de aceptar lo que estaba entonces en boga entre ciertos intelectuales simplemente porque estuviera de moda. En Einstein, la libertad intelectual fue una preocupación que le acompañó a lo largo de toda su vida. En junio de 1932, al negarse a suscribir una declaración contra la guerra, escribió: «No puedo firmarla porque lleva implícita una apología de la Rusia soviética. Desde hace algún tiempo he intentado por todos los medios llegar a hacerme una idea exacta de lo que está ocurriendo en dicho país, y he llegado a algunas conclusiones poco agradables. En la cumbre, parece que hay una lucha personal en la que los hombres más viles son utilizados por personas hambrientas de poder y que actúan por motivos egoístas. En el fondo, parece que se ha llegado a la total supresión del individuo y de la libertad de expresión. Me pregunto qué valor puede tener la vida en tales condiciones...»



Grupo internacional de científicos reunidos en Bélgica para planificar el Congreso Solvay de 1933. De izquierda a derecha: Bohr. Einstein. De Donder, Richardson, Langevin, Debye, Joffe. Cabrera. La fotografía fue tomada el 3 de julio de 1932 por la reina Isabel.

Debido en parte a los Congresos Solvay celebrados en Bruselas, había brotado una

gran amistad entre Einstein y los reyes belgas, Alberto e Isabel. En una carta que escribió a su esposa, Elsa, hablándole de la visita que les había hecho el año 1930, se refleja claramente esta amistad: «...Me recibieron con una cordialidad exquisita. Son dos personas de una pureza y amabilidad excepcionales. Primero estuvimos hablando cerca de una hora. Luego la reina y yo interpretamos cuartetos y tríos con una música inglesa y una dama de honor melómana. Estuvimos así varias horas. Después, los acompañantes se marcharon y me quedé yo solo a cenar con el rey y la reina, comida vegetariana y sin criados: espinacas, huevos duros, patatas, y punto. No sabían que iba a cenar con ellos. Me marché muy satisfecho y estoy seguro de que ellos comparten este mismo sentimiento.»

Cuando Hitler subió al poder, los Einstein estaban en Pasadena. Einstein comprendió al momento que no podría volver a Alemania, y en marzo de 1933, en una declaración muy dura, anunció públicamente su decisión de no regresar. Fue a Bélgica, al pueblecito de Le Coq-sur-Mer, donde, por orden del rey, estuvo protegido algún tiempo, día y noche, por guardaespaldas. Hubo muchos rumores de que se produciría algún atentado contra su vida.

De fuera de Alemania llegaron generosas ofertas académicas, en las mismas fechas en que los nazis confiscaban su cuenta bancaria y el contenido de la caja de seguridad de su esposa, así como su querida casa de Caputh, el inexistente regalo de la ciudad de Berlín que ahora le arrebatava el Estado. Las obras de Einstein formaron parte de una lista de creaciones ¡lustres que los nazis arrojaron a la hoguera. Al tachar de judías las teorías de Einstein, los nazis, en su furor antisemita, no se daban cuenta del gran piropo que estaban dirigiendo a los judíos. Por un decreto nazi, los judíos se veían obligados a abandonar sus puestos académicos, se les prohibía el ejercicio de muchas profesiones y se les acosaba hasta conseguir su ruina. Los alemanes que se atrevían a manifestarse en contra de los nazis corrían peligro de ser encarcelados, torturados y ejecutados.

El 28 de marzo de 1933, Einstein renunció a la Academia Prusiana, que, como supo más tarde, había estado a punto de expulsarle. Por segunda vez en su vida, realizó también gestiones para renunciar a su ciudadanía alemana; luego, los nazis cayeron

en la cuenta de la oportunidad que habían perdido y se atribuyeron la distinción inmortal de haber anulado oficialmente la ciudadanía alemana de Einstein. Con humor negro, él compararía más tarde esta actuación con el ahorcamiento público del cadáver de Mussolini después de su ejecución.

La Academia Prusiana, cuando estuvo pensando en expulsar a Einstein de su seno, había incluido entre sus cargos la acusación de que al visitar países extranjeros había puesto en circulación mentiras terribles sobre Alemania.



Einstein y su esposa Elsa. Pasadena, 1931.

Cuando Einstein negó los cargos, éstos fueron implícitamente retirados. En este fragmento de la carta de Einstein del 12 de abril de 1933 se refleja el tono de la correspondencia cruzada entre Einstein y la Academia: «Habéis dicho que una manifestación por mi parte "en favor del pueblo alemán" habría producido un gran impacto en el extranjero. Debo responder que el testimonio que insinuáis habría sido la negación de todas las ideas de justicia y libertad que he defendido a lo largo

de toda mi vida.

Tal testimonio no sería, como vosotros decís, "en favor del pueblo alemán"; por el contrario, sólo habría servido para defender la causa de los que intentan minar las ideas y principios que han conseguido para el pueblo alemán un lugar de honor en el mundo civilizado. Al ofrecer este testimonio en las presentes circunstancias, habría contribuido, aunque sólo fuera de forma indirecta, a la corrupción moral y a la destrucción de todos los actuales valores culturales.»



Einstein y el rey Alberto de Bélgica. 1933.

En aquellos momentos angustiosos, muchos miembros de la Academia, dominados por el nacionalismo y otras emociones, se dejaron contagiar por la fiebre antieinsteiniana que hacía estragos en todo el país. Laue no sucumbió al contagio, ni Nernst, ni Planck. De hecho, en una sesión plenaria de la Academia Prusiana, celebrada el 2 de mayo de 1933, varias semanas después de la dimisión de Einstein, Planck hizo una declaración llena de valor: «Creo que hablo en nombre de mis

colegas físicos de la Academia y también en nombre de la mayoría abrumadora de todos los físicos alemanes al afirmar: Einstein no es sólo uno de nuestros muchos físicos de talla; es, además, el físico con cuyas obras, publicadas por nuestra Academia, la física ha experimentado un progreso cuya importancia sólo puede compararse con los avances logrados por Johannes Kepler e Isaac Newton...»

En circunstancias tan peligrosas, Planck no podía hacer una afirmación de este calibre a la ligera. Por eso, su valor es mucho mayor. Podemos decir que fue el mayor de los numerosos homenajes que Planck rindió a Einstein a lo largo de su vida. Pero Planck decía la verdad incluso bajo el dominio nazi. En una ocasión esta actitud molestó a Hitler hasta el punto de decirle personalmente a Planck que sólo por su edad se veía libre de ir a un campo de concentración.



Einstein y Churchill en Chartwell. 1933.

En abril de 1933 Einstein se dio de baja en la Academia de Baviera, de la que era miembro correspondiente. Al hacerlo, decía: «...Por lo que yo sé, las sociedades científicas de Alemania han permanecido pasivas y silenciosas mientras gran número de científicos, estudiantes y profesionales con preparación académica se

han visto privados de su empleo y de sus medios de vida. No quiero pertenecer a ninguna sociedad que se comporte de esa manera, aun cuando lo haga por coacción.»

En aquellas fechas todavía no se habían puesto en marcha los campos de exterminio. Pero Einstein estaba ya horrorizado ante la tiranía nazi y ante el peligro que suponía para la civilización mundial una Alemania totalitaria, empeñada en el rearme y partidaria de la guerra y del exterminio.



Einstein en Berlín, el 1 de diciembre de 1932. La foto fue tomada por Charles Holdt, que reconoció a Einstein al pasar. Holdt dice que tuvo que emplear un tiempo de exposición muy alto, pues «el sol se había metido por detrás de la Opera y la luz era muy mala.» Un año más tarde, Einstein escribió a Holdt para darle las gracias por haberle enviado una copia, y añadía: «La foto se tomó pocos días antes de que me marchara de Berlín para siempre.»

Durante toda su vida, Einstein había sido un pacifista declarado; recordamos especialmente sus rotundas declaraciones de 1928 y 1929, pero éstas no son más que un par de ejemplos entre las numerosas y rotundas manifestaciones que hizo en favor del pacifismo y de las organizaciones pacifistas de todo el mundo. Ahora, en Le Coq-sur-Mer tenía que hacer frente a un grave dilema moral, y tras muchas cavilaciones optó por lo que consideraba el menor de los dos males. El 20 de julio de 1933, en respuesta a una llamada a hablar en favor de dos objetores de conciencia belgas, dio a conocer su decisión: «Lo que voy a decir puede provocar sorpresas... Imaginaos a Bélgica ocupada por la Alemania actual. Las cosas serían mucho peor que en 1914, y entonces no fueron nada buenas. Por eso tengo que decir con toda franqueza: si yo fuera belga, y dadas las actuales circunstancias, no me negaría a prestar el servicio militar; por el contrario, entraría en dicha organización con alegría y pensando que de esa manera contribuiría a salvar a la civilización europea. Esto no quiere decir que esté renunciando al principio que siempre he defendido. Espero sinceramente que llegue el momento en que la negativa a realizar el servicio militar sea de nuevo un método eficaz de servir a la causa del progreso humano.»

Los pacifistas de todo el mundo quedaron consternados. Einstein se convirtió para ellos en una especie de apóstata: había traicionado su causa. Pero, como dijo él en 1935: «En momentos como éstos, todo debilitamiento de los países democráticos producido por la renuncia al servicio militar equivaldría a traicionar la causa de la civilización y de la humanidad.» A pesar de las amargas críticas de los pacifistas de todo el mundo, siguió expresando sus nuevos puntos de vista; otros famosos pacifistas, sobre todo Bertrand Russell, renunciaron también a su pacifismo.

En junio de 1933 Einstein fue a Inglaterra, donde, en Oxford, pronunció la «conferencia Herbert Spencer». En ella trató «del método de la física teórica» e insistió, con la sabiduría que le daban los años, en que «los conceptos y principios fundamentales en que se basa la física teórica son invenciones libres de la mente humana» y «forman la parte esencial de una teoría, que la razón no puede

alcanzar». Tras ofrecer varias conferencias científicas, regresó a Le Coq. A finales del verano de 1933 volvió a Inglaterra, donde permaneció en relativa soledad en Cromer, dejando pasar los días mientras trabajaba en sus cálculos. Poco después diría que el trabajo ideal para un físico teórico sería el de torrero. Sus cartas desde Cromer demuestran que, al menos en su caso, era verdad: «Disfruto de una paz maravillosa; sólo ahora me doy cuenta de lo ajetreado que estoy habitualmente...» «Me encantan la tranquilidad y la soledad que tengo aquí. Se puede pensar con más claridad, y me encuentro incomparablemente mejor.» Estando en Inglaterra, habló en privado con personas importantes, Churchill entre ellas, sobre la amenaza del rearme alemán; y el 3 de octubre de 1933 habló en público en una gigantesca manifestación celebrada en defensa de la creación de un comité constituido por hombres como Rutherford, y destinado a ayudar a los científicos refugiados que procedían de la Alemania nazi.

Llegaba así al final de su período europeo.

Con su esposa, su secretaria y su colaborador Walter Mayer salió con dirección a Estados Unidos. Llegó el 17 de octubre de 1933. Su llegada constituyó un gran acontecimiento. Casi inmediatamente, el presidente Roosevelt invitó a los Einstein a pasar una noche en la Casa Blanca, y cuando se produjo el encuentro en el mes de enero siguiente, Roosevelt y Einstein encontraron puntos comunes en su amor a la vela, de la que ambos podían hablar como verdaderos expertos. Pero también hablaron del sombrío panorama que se cernía sobre Europa.

Flexner había elegido Princeton (Nueva Jersey) como emplazamiento del Instituto de Estudios Superiores. Sin embargo, mientras terminaban las obras de los nuevos edificios, el Instituto estaba instalado en la Universidad de Princeton. Aquella pequeña ciudad universitaria fue el refugio de Einstein. Siguió hablando contra los nazis, pero no se tomaron precauciones especiales para garantizar su seguridad personal. Deambulaba sin temor por las tranquilas calles de la ciudad. La población le trataba con cariño. Su total falta de formalismo debió provocar sorpresas, pero sirvió también para ganarle simpatías. En este lugar tan pacífico pasaría el resto de sus días.

Capítulo 10

La batalla y la bomba

Una vez que hemos dejado a Einstein instalado sin peligro en Princeton, podemos retroceder un poco para hablar, de forma muy sumaria, de los extraordinarios avances en la teoría atómica.

Recordemos cómo Einstein, en la oficina de patentes, había aplicado la revolucionaria idea de los quanta de Planck a la teoría de la luz y a la teoría del calor interior. En el Congreso Solvay de 1911, sobre todo gracias a los trabajos de Einstein sobre el calor, quedó claro que había que tomarse en serio el quantum: y como consecuencia, se vio también con claridad que eso era casi lo único que estaba claro. El quantum estaba en evidente conflicto con Newton y Maxwell, y no se veía la forma de conciliar lo nuevo con lo viejo. La ciencia estaba en una profunda crisis, más profunda de lo que se pensaba.

Entre los presentes en el Congreso Solvay de 1911 estaba el neozelandés Ernest Rutherford, el más destacado de los físicos atómicos de todo el mundo. Ya había recibido el premio Nobel por los trabajos realizados en Canadá sobre la naturaleza de la radiactividad, y entonces estaba en la Universidad de Manchester (Inglaterra), donde había conseguido rodearse de un importante grupo de investigadores. Como buen pionero, había disfrutado con las discusiones sobre el revolucionario quantum que había atormentado a los participantes en el Congreso Solvay. y a su vuelta a Manchester expuso los argumentos con tal fuerza que Niels Bohr, físico danés, joven por entonces, recordó la escena hasta el fin de sus días.

A comienzos de 1911 Rutherford había propuesto la idea de que el átomo estaba formado por un núcleo diminuto rodeado de electrones en forma de planetas, un sistema solar en miniatura unido por fuerzas eléctricas, en vez de por la fuerza de la gravedad. El trascendental descubrimiento del núcleo atómico fue luego verificado brillantemente de forma experimental. Pero su modelo del átomo tenía un defecto. Según la teoría de Maxwell, no podría mantenerse en pie. Los electrones no describirían órbitas constantes. Irradiarían su energía en forma de ondas

electromagnéticas y describirían órbitas espirales que se irían acercando hacia el núcleo. No había esperanza alguna de que fueran estables, ni de que produjeran las nítidas líneas espectrales observadas en los espectroscopios.

En 1913, de vuelta en Dinamarca, Bohr acudió en auxilio de Rutherford. Einstein había puesto ya en tela de juicio a Maxwell. Bohr decidió hacerlo de forma todavía más radical, y con la misma arma, el quantum..., y bastante audacia.

Lo que más interesaba a Bohr era demostrar que, en teoría, el átomo de Rutherford no tenía por qué descomponerse. Pensemos por un momento en una persiana. Cuando la bajamos, queda extendida una parte adecuada de la misma. Un sistema interno de muescas impide que se recoja de nuevo formando un rodillo bien apretado. En 1900 Planck había atribuido una especie de muescas cuánticas a ciertas oscilaciones, de tal manera que sus posibles energías eran análogas a una serie de pasos en vez de una pendiente lisa y continua. Comprendiendo en seguida la posible importancia universal de estas muescas cuánticas, Einstein, en su teoría del calor interno, las había ampliado en 1906 a otras oscilaciones. Y ahora, a comienzos de 1913, Bohr atribuía las muescas cuánticas al átomo de Rutherford, para evitar que se viniera abajo.

Desafiando las reglas de Maxwell, Bohr declaró rotundamente que los electrones no sólo permanecerían en órbitas fijas sino que también seguirían en ellas sin emitir radiaciones. Luego, continuando por este camino heterodoxo, admitió únicamente órbitas de ciertos tamaños, negando todas las demás. Gracias a estos decretos despóticos, tenía ya un átomo de Rutherford dotado de sólidas muescas. Incluso demasiado sólidas, pues ¿cómo iba a emitir así radiación? Bohr tenía una respuesta. Decía que la luz se irradia o absorbe no cuando un electrón está en órbita sino cuando realiza un salto cuántico de una órbita a otra. También decía que la frecuencia de la luz está relacionada con el cambio de la energía del electrón por la regla cuántica de Planck, siendo la proporción *cambio de energía/ frecuencia* igual a la constante h de Planck. Y demostró que de estas reglas, en su forma matemática más detallada, se deducían resultados que estaban en concordancia con los experimentos. Por encima de todo, aunque sólo pudiera demostrarse más tarde,

hizo gala de la seguridad de su intuición al negarse a decir lo que ocurría durante el salto cuántico de un electrón.

La teoría de Bohr sobre el átomo de Rutherford fue uno de los momentos cruciales de la física. Bohr se hizo en seguida famoso. Sin embargo, como él mismo comprendió, su teoría era un revoltijo de conceptos clásicos y cuánticos. Hasta tal punto era así que muchos físicos importantes la rechazaron al principio por considerarla totalmente absurda. Refiriéndose a estos primeros momentos, Bohr escribía en 1958, que «al margen del grupo de Manchester, mis ideas fueron recibidas con gran escepticismo». De hecho, su teoría podía describirse como un gran absurdo, como un absurdo inspirado, como una maravilla de intuición. Veamos lo que dice al respecto el propio Einstein.



Congreso Solvay de 1913. Sentados, comenzando por la izquierda: Nemst, Rutherford, Wien, Thomson, Warburg, Lorentz, Brillouin. Barrow, Kamerlingh-Onnes. Wood, Gouy, Weiss. De pie: Hasenöhrl, Verschaffelt, Jeans, Bragg, Laue, Rubens, Mme. Curie, Goldschmidt, Sommerfeld, Herzen, Einstein, Lindemann, De Broglie. Pope, Gruneisen, Knudsen, Hostelet, Langevin.

En el verano de 1913 la calificó como «uno de los mayores descubrimientos», y señaló como especialmente digno de admiración el «enorme logro» de unir la luz con los saltos cuánticos de electrones en vez de hacerlo con sus oscilaciones, tal como venía suponiéndose en las teorías maxwellianas y cuánticas. En sus *Notas autobiográficas*, escritas treinta años más tarde y mucho después de que se hubiera

logrado superar la teoría de Bohr, Einstein hablaba así de estos años de la posguerra: «Todos mis intentos... fracasaron por completo.

Era como si me hubieran quitado la tierra por debajo de los pies y no hubiera ningún cimiento firme. Que esta base insegura y contradictoria bastase para permitir a un hombre de la sensibilidad e instinto de Bohr descubrir las grandes leyes de las líneas espectrales y de la estructura electrónica de los átomos, así como su importancia para la química, me parecía un hecho milagroso, y todavía me lo sigue pareciendo hoy. Es la más elevada forma de musicalidad en la esfera del pensamiento.»

En 1900, cuando Planck dedujo su fórmula sobre la radiación del cuerpo negro, no pudo dejar de mezclar ideas cuánticas y maxwellianas, aunque estuvieran en conflicto. En 1916, Einstein dio con un enfoque cuántico que evitaba básicamente los conceptos electromagnéticos maxwellianos. El éxito de la teoría de Bohr había demostrado que, en lo que se refiere a la energía interna, un átomo se parece a una serie de pasos o niveles. La existencia de estos niveles de energía atómica se había verificado mediante experimentación directa, y Einstein se dio cuenta de que, cualquiera que fuera el destino de la teoría de Bohr, con su mezcla de conceptos en conflicto, era probable que se mantuviera la existencia de niveles de energía. Para él, esto era una base segura sobre la que se podía edificar con confianza. Mediante argumentos de probabilidad, y sin suponer siquiera la existencia de fotones, encontró una derivación «sorprendentemente sencilla» de la fórmula de Planck para la radiación del cuerpo negro. Averiguó más cosas: por ejemplo, una relación directa con una fórmula básica de la teoría de Bohr. Einstein no podía disimular su alegría al ver cómo todo parecía encajar a la perfección. Al publicar sus investigaciones, escribía: «Se recomienda sólo por su sencillez y carácter general», y no estaba exagerando. Era Einstein en estado puro. Lo consideró, y con razón, como uno de sus principales trabajos. Tuvo gran influencia en Bohr, y por tanto en todo el desarrollo de la física cuántica.

La idea básica es fácil de entender. Einstein consideró un gas de átomos, todos de la misma clase. Para no complicar las cosas, imaginemos que sólo tienen dos

niveles de energía, y hablemos de las partículas de la luz, fotones- desde el primer momento, aun cuando Einstein no tuviera que hacerlo así. Imaginemos también que todos los fotones tienen energías que se corresponden con la diferencia existente en estos niveles. Cuando un átomo está en el nivel inferior, diremos que está «vacío», y cuando esté en el nivel superior diremos que está «lleno». Así, cuando un átomo vacío absorbe un fotón, éste pasa a estar lleno, y cuando un átomo lleno emite un fotón pasa a estar vacío.

Siguiendo a Einstein, vamos a proponer tres reglas sencillas, dos ahora y otra más adelante. Las tres son análogos cuánticos de los correspondientes procesos maxwellianos. Un átomo vacío seguirá estando vacío mientras no encuentre un fotón. Un átomo lleno emite, tarde o temprano y de forma *espontánea*, su fotón, sin necesidad de estímulo externo. Como carecemos de datos sobre los procesos internos de todo un átomo, no podemos predecir cuándo emitirá su fotón. Así pues, suponemos que, si tenemos muchos átomos y fotones, las emisiones se producen al azar, y escribimos una fórmula de probabilidad para describir este azar. Es el tipo de fórmula estadística que Rutherford y otros utilizaron para referirse a la desintegración radiactiva de los núcleos atómicos.

Hasta ahora tenemos dos procesos: átomos vacíos que absorben fotones cuando éstos llegan, y átomos llenos que emiten fotones espontáneamente y en momentos imprevisibles; este último proceso tiene el nombre técnico de *emisión espontánea*. Queremos lograr un equilibrio entre las absorciones y las emisiones. Pero si sólo utilizamos las dos reglas anteriores, no obtendremos la fórmula de Planck para la radiación del cuerpo negro. Einstein comprendió que para obtenerla necesitamos un tercer proceso. Supongamos que un átomo lleno se encuentra con un fotón. Al estar lleno, el átomo no puede absorber otro fotón. Habría que suponer que entonces no ocurre nada. Pero Einstein supuso que el átomo lleno intentaría, por así decirlo, absorber el fotón adicional y como consecuencia de ello perdería los dos, quedándose vacío. Parece como si estuviéramos contando una fábula de Esopo con alusiones moralizantes, pero este tercer proceso es de enorme importancia científica. Se llama *emisión estimulada* y lo mencionamos aquí porque unos treinta

o cuarenta años más tarde comenzó a encontrar aplicación práctica. Es el principio básico del láser, cuyas aplicaciones médicas e industriales son bien conocidas; además posibilita la creación de un rayo de la muerte capaz de destruir a cualquier persona, tanque, avión o bomba atómica a que se dirija. Esta arma, que podría utilizarse en la tercera Guerra Mundial, en el caso de que llegue a producirse, tendrá como base una investigación cuántica que Einstein realizó en Berlín durante la 1 Guerra Mundial por razones científicas y estéticas.

Hay otros aspectos de esta historia concreta. Sólo mencionaremos uno. Einstein amplió su trabajo en un segundo artículo, y encontró razones poderosas para considerar los quanta de luz como partículas dotadas de energía e impulso, como las balas, razones tan poderosas que se atrevió a escribir en su artículo: «...la radiación en forma de ...ondas no existe». Y, de hecho, el comportamiento de los quanta de luz como si fueran proyectiles se comprobó en varios experimentos realizados en 1923. Sin embargo, había pruebas muy fuertes en favor de las ondas luminosas, y todavía en 1922, año en que Bohr recibió el premio Nobel, él y otros científicos se resistían a aceptar la idea de Einstein sobre las partículas de luz. En cierto sentido, Bohr no lo aceptó nunca.

Bohr y Einstein se conocieron en 1920, cuando el primero acudió como invitado a Berlín para pronunciar una conferencia sobre su teoría del átomo. Casi desde el momento en que llegó, se produjo una animada y estimulante discusión entre Einstein y él que ocupó todos los momentos libres de que dispuso en los días de su estancia. Era lo único que podía ocurrir en el primer encuentro entre aquellos dos hombres. Ambos tenían en gran respeto al otro, y ambos estaban fascinados por los tremendos problemas que rodeaban a la física teórica. Después de la marcha de Bohr, Einstein le escribió una carta el 2 de mayo de 1920 donde le decía: «Pocas veces he sentido tanta alegría ante la mera presencia de otra persona. Ahora entiendo por qué Ehrenfest le tiene tanto cariño.» Y Bohr respondió: «El poder conocerle y hablarle fue una de las mayores experiencias de mi vida. No sabe el estímulo que supuso para mí poder oír sus puntos de vista... Jamás olvidaré nuestras discusiones mientras íbamos de Dahlem a su casa...»

En 1922 Bohr era ya una gloria nacional para Dinamarca. Era director de un Instituto de Física Teórica especialmente creado para él en Copenhague, y que se convertiría en el centro mundial de la teoría atómica. Acudieron de muchos países jóvenes interesados en las nuevas teorías, hasta el punto de que luego resultaría cierta la afirmación de que la lengua oficial del Instituto era un inglés mal chapurreado.

En cuanto a Rutherford, era por entonces director, antes lo había sido Maxwell- del famoso laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge. Bohr, el teórico, y Rutherford, el experimentador, mantenían intensas relaciones, y bajo su inspirada dirección la física atómica realizó avances fabulosos.

Sin embargo, ya en 1922, la teoría de Bohr atravesaba graves dificultades. Todos, y Bohr más que nadie, habían comprendido que no era más que un recurso transitorio. Este había ampliado ingeniosamente su alcance introduciendo un «principio de correspondencia», no olvidemos esta expresión- que le consiguió un nuevo apoyo de la física no cuántica. Pero el principio de correspondencia tenía todos los indicios de una creación artificial. La teoría de Bohr parecía estar ya al límite de sus posibilidades, y como no se veía en el horizonte ninguna otra alternativa, los teóricos atómicos se encontraban en un estado de profunda frustración.

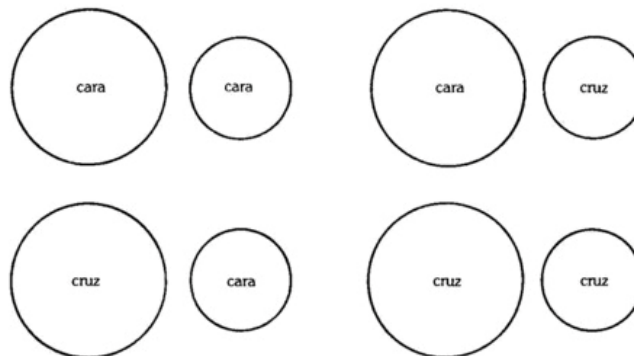
De repente, cuando nadie lo esperaba, saltaron por los aires las barreras que obstaculizaban el progreso. En unos años de actividad desconcertante se transformó la situación de arriba abajo. No nos atrevemos a pedir al lector que intente comprender lo que sigue. Es sólo una descripción a grandes rasgos de una avalancha de acontecimientos y de interpretaciones encontradas que pusieron a prueba la intuición de los científicos más destacados. Aunque la imagen resultante sea muy confusa, al menos servirá para reflejar parte del ambiente de aquellos años convulsos.

Cuando el físico francés Maurice de Broglie regresó del famoso Congreso Solvay de 1911, suscitó en su hermano menor. Louis de Broglie, un interés quizá todavía mayor que el que Rutherford había provocado en el joven Bohr. Obsesionado por el

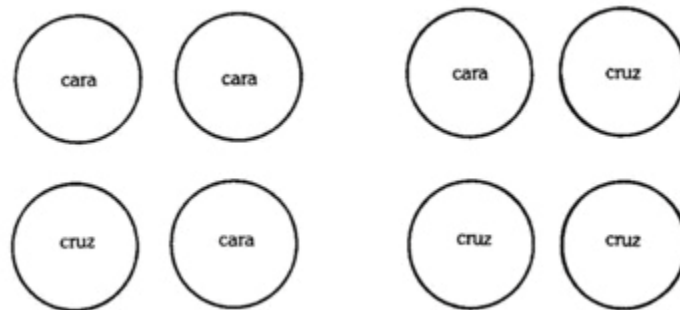
enigma del quantum y por las pruebas contradictorias que presentaban a la luz como partículas y como ondas. Louis de Broglie desarrolló entre 1922 y 1924 una teoría aparentemente fantástica. Según ella, la luz estaría formada por partículas acompañadas y dirigidas por ondas. Y, lo que es todavía más importante, consideraba que los electrones y otras partículas de materia estaban también acompañados de ondas, unas ondas que irían a una velocidad superior a la de la luz. Era una afirmación muy arriesgada. De hecho, hubo que cambiar la interpretación que De Broglie presentaba de sus cálculos matemáticos. Sin embargo, gracias a sus ondas pudo ofrecer una representación gráfica de las órbitas de los electrones de Bohr.

Paul Langevin demostró su excepcional clarividencia al tomarse en serio las ideas de De Broglie. Además, habló de ello con Einstein.

Daba la casualidad que poco antes, Einstein había estado ejercitando su poderosa intuición física. Había recibido un manuscrito de un físico indio, S.N. Bose, a quien no tenía el gusto de conocer. Antes de hablar del manuscrito de Bose, formulemos esta sencilla pregunta: si arrojamos al aire una moneda de cinco pesetas y otra de 1 peseta, ¿qué probabilidades hay de que salga cara en ambos casos? Es un problema elemental de cálculo de probabilidades, y su solución es fácil. Hay cuatro posibilidades, todas ellas igualmente probables. De las cuatro, sólo una tiene dos caras. Así pues, si repetimos la prueba muchas veces podemos esperar que salgan dos caras en una cuarta parte de las ocasiones. Las probabilidades son una de cada cuatro o, si se prefiere, de $1/4$.



Supongamos ahora que lanzamos dos monedas recién acuñadas. Evidentemente, la probabilidad de que salgan dos caras es de una sobre cuatro. Se dan esencialmente los mismos cuatro casos, pero ahora hay dos que parecen iguales: cara y cruz = cruz y cara. Podríamos pensar que sólo existen estos tres casos: dos caras, dos cruces o cruz y cara. De ahí podemos llegar a la falsa conclusión de que las probabilidades de que aparezcan dos caras son de uno sobre tres y no de uno sobre cuatro. Que nadie se sienta avergonzado si comete este error, a no ser que sea un profesional. En los primeros momentos de la teoría de las probabilidades muchos matemáticos cayeron en esta trampa. La manera de evitarla es imaginarse las monedas de tal manera que puedan distinguirse entre sí.



Volvamos ahora a Bose. Para él, los quanta de luz no eran una realidad electromagnética sino simplemente partículas. Aplicó a estas partículas los métodos estadísticos utilizados en la teoría de los gases. Como en el caso de las monedas nuevas, los quanta de luz que tenían la misma energía se prestaban a confusión. ¿Qué ocurriría si no fuera posible separarlos, señalarlos con marcas distintivas, y, en definitiva, cometer deliberadamente el mismo error de cálculo mencionado más arriba? Bose demostró que de esa manera se podía obtener un nuevo procedimiento para deducir la famosa fórmula de Planck sobre la radiación del cuerpo negro. Si se hacía el cálculo «correctamente», no se llegaba a la fórmula de Planck.

Adivinando la importancia de la idea de Bose, Einstein tradujo personalmente el manuscrito al alemán y logró su publicación en una revista científica alemana. No

fue eso todo. Demostrando una intuición profética, de hecho, esta nueva concepción recibió el nombre de estadística de Bose-Einstein-, amplió la idea de Bose aplicando su método de cálculo de probabilidades al caso de un gas compuesto de partículas de materia que no se pudieran distinguir entre sí. Por eso, cuando Einstein observó que De Broglie trataba también la luz y la materia de forma unificada, se puso de inmediato en actitud de alerta. Aunque poco después comentó a Bohr que las ideas de De Broglie parecían «disparatadas», tenía la impresión de que eran importantes. En consecuencia, en el artículo de 1925 en que ampliaba las ideas de Bose, Einstein no sólo mencionó la idea de De Broglie sino que alabó públicamente sus investigaciones⁶.

Einstein sabía que su opinión gozaba de gran prestigio científico, pero difícilmente podía imaginarse la rápida y espectacular repercusión que iban a tener sus palabras sobre De Broglie. A comienzos de 1926 el físico austríaco de la Universidad de Zurich Erwin Schrödinger comenzó a publicar una teoría atómica muy atinada. A pesar de estar muy relacionada con las ecuaciones newtonianas, trataba la materia no como partículas, ni como partículas acompañadas de ondas, sino únicamente como ondas, ondas perfectamente continuas propagadas no en el espacio ordinario sino en espacios matemáticos abstractos que podían tener muchas dimensiones.

Mientras tanto, en junio de 1925, Werner Heisenberg, físico alemán de veinticinco años, había propuesto otra teoría atómica con perspectivas muy diferentes. Renunciaba a las órbitas de los electrones, por considerarlas inobservables, y se negaba a describir en tales términos lo que ocurre en el mundo del átomo. Con un planteamiento austero y abstracto, encontró, en los datos ya conocidos sobre los espectros atómicos, razones para llegar a la siguiente conclusión: los teóricos del

⁶ Hay algo curioso en esta sucesión de acontecimientos, que va más allá de lo extraños que puedan parecer los conceptos. El método de contabilidad estadística de Bose no era totalmente nuevo. Ya había sido esbozado, en relación con la fórmula de Planck, en 1911 por Ehrenfest y otros. Parecía lógico que Einstein, dado su enorme interés por los cuanta de luz y por la fórmula de Planck, hubiera utilizado la idea inicial de 1911, y también quizá que la hubiera aplicado a las partículas de materia existentes en un gas sin tener que esperar al estímulo del artículo de Bose. Es posible que Einstein no llegara a captar de momento las pistas de 1911 ni a incluirlas en su esquema de la realidad porque tenía la necesidad psicológica de concebir sus revolucionarios cuanta de luz como partículas. Incluso en 1924 le costó admitir que los procedimientos estadísticos utilizados por Bose y él mismo privaban a las partículas de su individualidad, y de esa manera emborronaban el concepto físico de partícula. Esta necesidad psicológica de Einstein, si es que existió, conviene tenerla en cuenta al contemplar los progresos mencionados en este capítulo.

átomo, sin renunciar a las ecuaciones newtonianas, deberían utilizar conceptos matemáticos como el que dice que x por y no es lo mismo que y por x .

Afortunadamente, Heisenberg era auxiliar de Born en la Universidad de Gotinga, y Born tuvo la clarividencia necesaria para tomarse en serio la idea de Heisenberg. Born y su colaborador Pascual Jordán desarrollaron a fondo las concepciones de Heisenberg, y para el mes de noviembre, entre los tres, consiguieron dar forma definitiva a aquella teoría. Lo mismo había hecho, por su cuenta y todavía con más claridad, un joven físico inglés, Paul Dirac, en la Universidad de Cambridge. Tenía veintitrés años.

En junio de 1926 Born realizó un progreso decisivo que le valió, mucho más tarde, el premio Nobel. Reinterpretó la teoría de Schrödinger, provocando la indignación de éste. Siguiendo una pista ofrecida por Einstein en un intento anterior de reconciliar ondas y partículas, Born propuso que las ondas de Schrödinger no eran, como pensaba éste, ondas de materia. Eran, más bien, ondas de probabilidad asociadas con partículas de materia.

Ante un panorama tan confuso, hagamos una pausa para ver dónde habían encontrado De Broglie y Heisenberg la inspiración y el valor necesarios para concebir tan extraordinarias ideas y desarrollarlas matemáticamente. No es fácil trabajar como pionero. Hace falta gran fe y fortaleza. Por ejemplo, cuando Heisenberg estaba a punto de terminar sus cálculos básicos, se preguntó si no debía arrojarlos al fuego. La teoría atómica estaba ciertamente abierta a decisiones heroicas. Pero la desesperación no era más que un acicate. Por sí sola, no servía de orientación.

Las ideas de De Broglie procedían directamente de la concepción einsteiniana de los quanta de luz, y, de forma todavía más inmediata, de su teoría restringida de la relatividad. Esta teoría fue también importante para Heisenberg. Su negación de la simultaneidad absoluta fue lo que dio al joven físico alemán el valor de negar las órbitas no observadas. Además, había una nueva pista en el trabajo de Einstein de 1916, trabajo que con el tiempo llevaría al láser. Pero también fue decisiva la influencia de Bohr.

Heisenberg había pasado un año muy provechoso en el Instituto de Copenhague, y su idea fue un desarrollo directo del principio de correspondencia con que Bohr había ampliado el ámbito de su propia teoría, que estaba muy enferma. En el lecho de muerte dio a luz la teoría de Heisenberg, y podríamos decir que éste fue el más importante de sus numerosos triunfos.

Las ideas de De Broglie y Heisenberg eran sumamente originales. No obstante, la obra del primero era un desarrollo tan claro de la relatividad y del concepto de los quanta de luz que uno se pregunta cómo es posible que Einstein no llegara a dar personalmente el paso decisivo; y, en sentido comparativo, la obra de Heisenberg era un desarrollo tan claro del principio de correspondencia de Bohr que nos sorprende que él mismo no llegara a dar este paso definitivo. Pero no debemos dejar nunca que el conocimiento de lo ocurrido con posterioridad empañe el brillo de tan deslumbrantes logros. De Broglie y Heisenberg recibieron, con todo merecimiento, el premio Nobel. También Schrödinger lo recibiría.

Pero podemos ver las cosas de otra manera. Los conceptos de De Broglie-Schrödinger son un homenaje a la intuición de Einstein; y la teoría de Heisenberg es un homenaje a la intuición de Bohr. Parece lógico que así sea, pues Bohr y Einstein, los dos maestros, estaban llamados a participar en un largo debate sobre la interpretación de la nueva teoría.

Hablamos, deliberadamente, de teoría y no de teorías. Schrödinger, y no fue el único- descubrió una conexión matemática que demostraba que eran sustancialmente equivalentes. Y con la interpretación de la posibilidad, Dirac, y Jordán por su cuenta, comprobaron en seguida que eran diferentes aspectos de una única teoría más general. Recibe el nombre de mecánica cuántica y es, en esencia, la teoría utilizada hoy. ¿Ondas de probabilidad en espacios multidimensionales? ¿ x por y no es igual a y por x ? ¿Y ahora las dos ideas unidas? ¿A dónde se dirige el mundo (el mundo cuántico)? Los físicos de aquellos inquietos años casi no tenían tiempo ni de detenerse a recuperar el aliento. Se vieron inmersos en el torbellino de una revolución científica que estaba latente desde 1900. Si queremos compartir en parte lo que sintieron, zarandeados por los increíbles acontecimientos que se

abalanzaban sobre ellos en tropel, no podemos detenernos a descansar en este punto. Debemos seguir hacia adelante y a toda prisa. Como a ellos, nos esperan nuevas conmociones. En 1927, inspirado una vez más por la forma en que Einstein había concebido la teoría restringida de la relatividad, Heisenberg enunció un principio de gran trascendencia que representaba de forma muy gráfica las extrañas implicaciones matemáticas de la mecánica cuántica.

Para ver, por ejemplo, un gato debemos dejar que le dé la luz. Es decir, debemos bombardearlo con quanta de luz. Y estos fotones producen sacudidas. Cuando vemos los objetos de tamaño normal, las sacudidas son, por lo general, totalmente despreciables. Pero no se puede decir lo mismo en el mundo del átomo. Pensemos, por ejemplo, en un electrón. Es demasiado pequeño para que podamos verlo. Pero si, con la imaginación, utilizamos luz para observarlo con claridad, tenemos que utilizar fotones que, relativamente hablando, inciden sobre él como pequeñas balas y lo sacuden en cantidades de amplitud desconocida. Heisenberg concluyó que dadas estas inevitables sacudidas cuánticas vinculadas con la observación, no podemos saber con precisión y al mismo tiempo dónde está una partícula y cómo se mueve. Cuanto más atentamente observemos su posición, peor podemos observar su movimiento, y viceversa. Este es, en términos muy generales, el principio de indeterminación de Heisenberg. Quizá no parezca muy radical. Pero veamos lo que se deduce de él.

Si en un momento determinado, no podemos saber con precisión la posición y la cantidad de movimiento de una partícula, carecemos de los datos necesarios para predecir dónde estará más adelante. El futuro es, por tanto, indeterminado: la causalidad ha caído víctima del quantum.

Esto es mucho más demoledor que la negación de la simultaneidad absoluta formulada por Einstein. Socava los cimientos de la ciencia tradicional. De hecho, si el futuro es indeterminado, podemos preguntarnos cómo existe eso que llamamos ciencia tradicional. Pero no todo es caos. Sigue quedando un resto de determinación, aunque no es probable que suscite en nosotros una reacción inmediata de alivio y comprensión. He aquí una forma de describirlo: entre las

distintas observaciones, las ondas de probabilidad progresan de forma determinista. En consecuencia, podemos predecir las probabilidades. Y, en relación con los objetos normales de nuestra vista, estas probabilidades equivalen prácticamente a certezas, por lo que en los movimientos de los planetas, de los proyectiles y objetos semejantes, la indeterminación pasa inadvertida.

Los científicos concibieron estas distintas ideas movidos por la desesperación, intrigados por los resultados de una mecánica cuántica de gran belleza matemática y muy buenos resultados, que parecía acerbada de contradicciones físicas. ¿Qué debemos pensar de todo esto? ¿Qué sentido podemos ver en ello, si es que hay alguno? En 1927 Bohr ofreció una respuesta que, junto con sus propias ideas y las de Heisenberg, se convirtió en la base de lo que ahora se conoce como la interpretación de Copenhague. Bohr recurrió al concepto de lo que llamó con el nombre de *complementariedad*. Aquí debemos conformarnos con ofrecer una indicación muy somera del contenido de este concepto tan complicado, y sobre cuyos detalles parece que no hay demasiado acuerdo. Antes de nada digamos, y por ahora no hace falta insistir más en ello- que el mundo cuántico del átomo no parece fácil de representar gráficamente en términos de la vida cotidiana. Bohr afirmó decididamente que *no es* posible hacer tal cosa. Cuando hacemos experimentos cuánticos, comenzamos poniendo a punto los aparatos y ajustándolos, por ejemplo girando ciertos mandos y leyendo los datos de alguna pantalla: y solemos terminar con nuevas lecturas. Así comenzamos y terminamos en el mundo cotidiano, no cuántico. Tenemos que hacerlo así. No podemos evitarlo. Sin embargo, a partir de tales experimentos, tan arraigados en nuestro mundo de todos los días, intentamos acercarnos al extraño mundo cuántico del átomo. Según Bohr, este mundo está tan lejos de nuestra experiencia habitual que, si queremos representárnoslo gráficamente, no bastará con una sola de nuestras imágenes cotidianas. Nos vemos obligados a utilizar parejas de imágenes complementarias y discordantes. No importa que las imágenes de las ondas y de las partículas sean contradictorias. Necesitamos las dos. Se complementan mutuamente, eso es todo. No suponen una verdadera contradicción física. Lo mismo que no hay conflicto real entre el aspecto

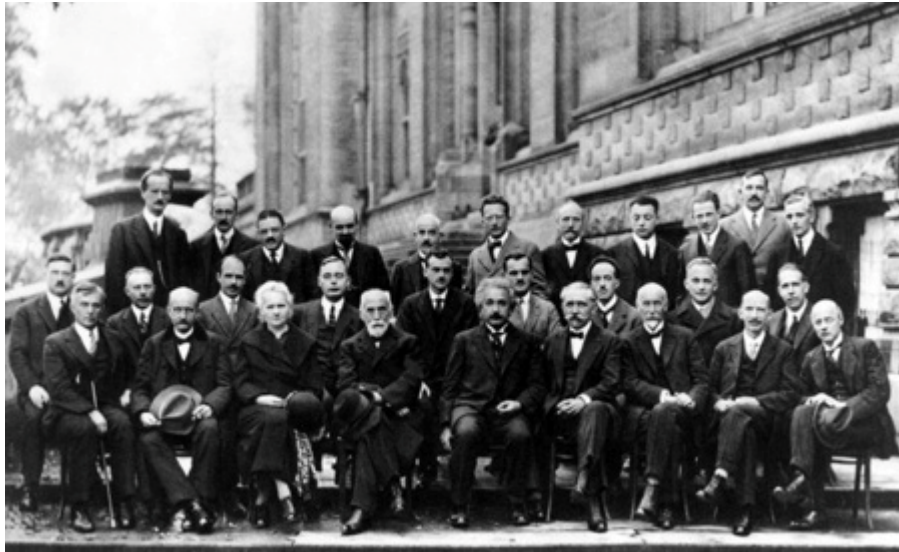
tan distinto del cielo al mediodía y durante la noche, tampoco hay conflicto alguno cuando ciertos experimentos nos hacen ver electrones que se comportan como ondas y otros experimentos de distinto tipo nos hacen ver electrones que se comportan como partículas. El conflicto sólo se produce en nuestra mente, pues buscamos una sola imagen sencilla y cotidiana que no existe. En nuestras imágenes no sólo necesitaremos ondas y partículas sino también realidades, como la posición y la cantidad de movimiento, a pesar de su aparente conflicto desde el punto de vista de Heisenberg. Cuando buscamos una imagen clara en términos de espacio y tiempo, debemos renunciar al determinismo, y viceversa. Debemos aprender a vivir con esta complementariedad omnipresente, decía Bohr. No podemos huir de ella, y la única forma de huir es tomar conciencia de ello.

¿Qué opinaba Einstein de todo esto? No le seducía demasiado. Iba contra todos sus instintos científicos. Desde el momento en que, siendo joven, había ampliado el artículo de Planck de 1900, había intentado por todos los medios ver un sentido físico en el quantum de luz que él mismo había introducido. Sólo podemos hacer cálculos sobre el número de intentos que realizó a lo largo de su vida. El problema estaba siempre dándole vueltas en la cabeza. No le dejaba un minuto de reposo. ¿Cómo era posible que los fotones individuales se comportaran como partículas cuando chocaban con los átomos y sin embargo se desplazaran con propiedades como las de las ondas, como si cada uno de ellos pudiera estar en muchos lugares al mismo tiempo? De Broglie había complicado en el enigma de la onda-partícula no sólo a la luz sino también a la materia, con lo que su presencia alcanzaba a toda la física. Esto sí que lo aceptaba Einstein. La omnipresencia es de por sí una forma de unidad. Bohr había llegado a la conclusión de que debemos acostumbrarnos a considerar la onda y la partícula como imágenes complementarias. Pero el instinto de Einstein se rebelaba ante esta perspectiva. El 12 de diciembre de 1951, ya cerca del final de su vida, escribió estas palabras a su viejo amigo Michele Besso, con quien, en los días lejanos de la oficina de patentes, había discutido sus primeras ideas: «Estos cincuenta años de reflexión no me han permitido acercarme más a la respuesta de la pregunta ¿Qué son los quanta de luz? Hoy día todo hijo de vecino se

imagina que la sabe, pero se equivoca.»

Einstein había participado intensamente en el combate por llegar a la interpretación de la nueva mecánica cuántica. Había discutido desde el primer momento con Bohr sobre la interpretación probabilista de la teoría de Schrödinger. Pero su principal antagonista era Bohr.

A finales de 1927, en el quinto Congreso Solvay, el enfrentamiento fue muy patente. Bohr y Heisenberg decían que la indeterminación era inevitable: que, dada la ausencia de una causalidad estricta, lo más que se podía lograr eran las probabilidades. Bohr estaba de acuerdo. Pero Einstein no. No quería aceptar lo que iba contra su propio instinto. Estaba convencido de que aquella teoría era incompleta. Y presentó una serie de ingeniosos argumentos para confirmar sus puntos de vista. Nunca se había visto la mecánica cuántica sometida a un ataque tan formidable y penetrante.



Congreso Solvay de 1927. Primera fila, de izquierda a derecha: Langmuir, Planck, Mme. Curie, Lorentz, Einstein, Langevin, Guie, Wilson, Richardson. Segunda fila: Debye, Knudsen, Bragg, Kramers, Dirac, Compton, De Broglie, Born, Bohr. Tercera fila: Piccard, Henriot, Ehrenfest, Herzen, De Donder, Schrödinger, Verschaffelt, Pauli, Heisenberg, Fowler, Brillouin.

Pero Bohr y sus aliados, a pesar de estar acosados, se mantuvieron en sus posiciones. Precizaron sus conceptos en medio de la batalla, rechazaron una a una las objeciones de Einstein, y éste, a pesar de todo su talento e ingenio, tuvo que declararse en retirada. Era imposible evitar la perturbación incognoscible de la observación.

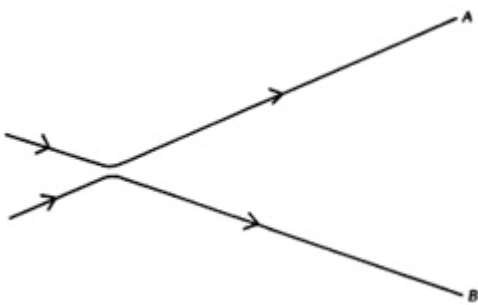
Cada una de las nuevas tácticas que Einstein proponía para medir una perturbación implicaba una nueva observación con una perturbación propia. Para medir esta nueva perturbación hacía falta una nueva observación perturbadora, y así sucesivamente en una cadena que no permitía esperanza alguna de victoria. El indeterminismo había resistido el ataque de Einstein. Inmediatamente después del congreso, Bohr y Einstein siguieron discutiendo en casa de Ehrenfest, y éste, que sentía enorme cariño tanto por Einstein como por Bohr, sufría al ver cómo uno de sus ídolos se negaba a aceptar la nueva interpretación de Copenhague. Pocos meses más tarde, en mayo de 1928, Einstein escribió a Schrödinger y, entre otras cosas, le decía: «La tranquilizadora filosofía, ¿o religión?- de Heisenberg-Bohr está tan ingeniosamente concebida que, de momento, constituye para el verdadero creyente una suave almohada en la que puede dormir plácidamente un sueño del que no va a ser fácil despertarle.»



Bohr y Einstein reflexionando. La fotografía fue tomada por Ehrenfest y constituye todo un estudio de contrastes.

En 1930, en el sexto Congreso Solvay, último en contar con la participación de Einstein-, presentó una nueva propuesta para evitar el principio de indeterminación de Heisenberg. Esta vez Bohr se tambaleó. El argumento parecía irrefutable. No veía en él ningún punto débil. Pero si no lo había, habría que concluir que toda la teoría cuántica, que por entonces parecía más acertada que nunca, debía tener algún defecto fundamental. Bohr no lo podía admitir. Y sin embargo, el argumento de Einstein estaba ante él, implacable, exigiéndole su rendición. Bohr intentó destruirlo de una forma y de otra, pero sus ataques no dieron fruto. No conseguiría dormir. Era demasiado lo que estaba en juego. Se pasó la noche luchando con el problema. A la mañana siguiente había dado con la solución: el argumento de Einstein no valía por el propio principio de equivalencia de Einstein, y por tanto por la propia teoría general de la relatividad. El descubrimiento de esta salida fue una gran proeza. Einstein se vio obligado a aceptar la derrota. Y a aceptar que el principio de indeterminación de Heisenberg era válido. Pero eso no significó, en absoluto, que no iba a volver a luchar.

En 1933, estando en Bélgica, poco antes de marcharse para siempre de Europa, mencionó una nueva idea. Dos años más tarde la publicó con sus colaboradores Boris Podolsky y Nathan Rosen, del Instituto de Estudios Superiores. He aquí la clave del argumento, desprovisto de todo su contenido matemático. Puede engañarnos por su aparente sencillez. Imaginemos que hacemos chocar entre sí dos electrones, *A* y *B*. y esperamos a que estén lo bastante alejados como para que no



puedan afectarse mutuamente de forma significativa. La propuesta tiene su malicia. Al tomar medidas de *A*, podemos extraer conclusiones sobre *B*. y nadie podrá decir que nuestra observación de *A* perturbó a *B* ni lo afectó de ninguna manera. Según la teoría cuántica, si observamos la posición exacta de *A* podemos deducir inmediatamente la posición exacta de *B*; y si, por el contrario, observamos con precisión el impulso

de A podemos deducir el impulso preciso de B . ¿Está clara la estrategia? Vamos a observar a A , pero vamos a hablar de B , que no se ve afectado por nuestra observación de A .

Para verlo mejor, supongamos que el choque se produce un domingo y que las distancias son tales que podemos esperar toda una semana para hacer nuestra observación de A . Según Heisenberg, no podemos determinar con precisión y al mismo tiempo la posición y el impulso de un electrón. Pero podemos elegir la cantidad que vamos a medir. Así que, el lunes, decidimos medir la posición exacta de A , cuando llegue el momento. El martes, cambiamos de opinión y decidimos medir el impulso de A . El miércoles, decidimos medir la posición de A . El jueves, volvemos a inclinarnos por el impulso de A . El viernes, nos decidimos por la posición de A . El sábado, por el impulso de A . Y el domingo, al ver que no podemos decidimos, echamos una moneda al aire y realizamos en A la medición que decida la moneda.

Supongamos que la moneda nos indica que observemos la posición del electrón A . Al observarla deberíamos saber inmediatamente la posición del otro electrón B . *sin perturbarlo de ninguna manera*. La teoría cuántica nos lo garantiza. Supongamos en cambio que la moneda nos indica que observemos no la posición sino el impulso de A . Al observarlo, sabremos también cuál es el impulso de B , sin perturbar para nada a B .

Nadie se imaginará que el electrón B vaya a cambiar cada vez que nosotros cambiemos de opinión, de tal forma que el lunes tuviera posición precisa e impulso impreciso, el martes impulso preciso pero posición imprecisa, el miércoles posición precisa pero impulso impreciso, el jueves impulso preciso pero posición imprecisa, y así sucesivamente, hasta el último momento, en que de alguna manera responda a la decisión impuesta por la moneda, estando B todo el tiempo aislado físicamente de A y de nosotros y de nuestra moneda- Es indudable, argumentaban Einstein y sus colaboradores, que la posición y el impulso precisos de B deben tener realidad física al mismo tiempo. Pero Heisenberg había demostrado que la teoría cuántica no nos permite conocerlos al mismo tiempo. Por tanto, la teoría cuántica no

constituye una descripción completa de la realidad física. Es una teoría incompleta. ¿Qué respuesta se le ocurre al lector? ¿Se rinde? Bohr no lo hizo. Pronto diremos cómo se defendió. Pero mientras tanto podemos permitirnos un pequeño descanso, bien merecido, y aprovechar la ocasión para hablar de otros temas.

Algunos de los comentarios que hemos hecho sobre la teoría de Maxwell pueden haber dado la impresión de que se trataba de una reliquia del pasado. Pero en 1927 Dirac demostró que era posible rejuvenecerla. Le hizo una transfusión cuántica. Luego, utilizando el método Bose-Einstein de cálculo estadístico, dedujo de la teoría de Maxwell rejuvenecida no sólo la fórmula de Planck para la radiación del cuerpo negro sino también todos los resultados obtenidos de otra manera por Einstein en su artículo de 1916 sobre el «láser». Y, a pesar de algunos problemas inevitables, la teoría rejuvenecida de Maxwell llegó a convertirse en la teoría física más exactamente verificada de todas las actuales.

Después de pedir disculpas a Maxwell, debemos volver a Newton. Bohr, Heisenberg y Schrödinger se habían apoyado en bases newtonianas, y Dirac había demostrado, con gran acierto, que la nueva mecánica cuántica era esencialmente una mecánica newtoniana con una transfusión cuántica. Dicho todo esto, no podemos olvidar a Einstein. En 1928 Dirac aplicó brillantemente la teoría restringida de la relatividad a la teoría cuántica del electrón, logro tan notable por su belleza matemática como por su espectacular éxito. A la vista de estos y otros méritos, no es sorprendente que recibiera el premio Nobel.

En la larga batalla de Einstein sobre la interpretación de la mecánica cuántica, se repetía con frecuencia un mismo tema: su reticencia instintiva ante la idea de un universo probabilista en el que la conducta de los átomos individuales dependiera del azar. Como solía hacer cuando se enfrentaba a los grandes problemas de la ciencia, intentaba ver las cosas desde el punto de vista de Dios. ¿Era probable que Dios hubiera creado un universo probabilista? Einstein estaba convencido de que la respuesta debía ser negativa. Si Dios era capaz de crear un universo en que los científicos podían observar leyes científicas. Dios era también capaz de crear un universo totalmente dirigido por tales leyes. No habría un universo en el que

tuviera que realizar en todo momento elecciones aleatorias en relación con el comportamiento de cada partícula individual. Era algo que Einstein no podía demostrar. Era cuestión de fe, de sentimiento y de intuición. Quizá parezca una actitud ingenua. Pero estaba muy arraigada, y la intuición física de Einstein, aunque no infalible, le había sido de gran utilidad. Toda ciencia se basa en la fe. Los sorprendentes acontecimientos que hemos visto, la teoría inicial de Bohr, entre otros- deberían habernos convencido ya de que la ciencia no se basa sólo en la fría lógica.

Einstein resumió su intuición sobre la teoría cuántica en la famosa frase «Gott würfelticht», que utilizó de varias formas y en muchas ocasiones. Se puede traducir como «Dios no juega a los dados». Pero Bohr propuso una traducción distinta de la frase. Desconfiaba de las discusiones en que se imputan a Dios atributos en el lenguaje cotidiano y tradujo la palabra «Gott» no por «Dios» sino por «las autoridades providenciales». Quizá sea esto un reflejo de la diferencia que había entre las concepciones de Bohr y las de Einstein en problemas científicos. Sin embargo, en una carta escrita en 1945 a alguien que quería conocer las creencias religiosas de Einstein, éste le dijo: «Siempre conduce a error utilizar conceptos antropomórficos para referirse a realidades ajenas a la esfera humana; sólo son analogías infantiles.» Esta afirmación parece estar en consonancia con la desconfianza de Bohr ante las afirmaciones sobre un Dios que no jugaba a los dados. Sin embargo, en una carta escrita a un librepensador en 1953, Einstein explicaba que al hablar del Dios que no jugaba a los dados no se refería «ni a Yahvé ni a Júpiter, sino al Dios inmanente de Spinoza». Y, en la carta de 1945 antes citada, Einstein continuaba diciendo algo que le gustaba repetir con frecuencia: «Debemos admirar humildemente la bella armonía de la estructura de este mundo, en la medida en que podamos comprenderlo. Esto es todo.» Parece que, según Einstein, la armonía del universo caería por tierra si, utilizando su metáfora, Dios jugara a los dados. Cuando un hombre como Einstein utiliza un argumento en física, le concede gran importancia, aun cuando lo exprese en forma de metáfora. A pesar de sus muchas afirmaciones, no sabemos qué quería decir

Einstein con la palabra Dios. En la obra científica de Einstein. Dios era el concepto dominante, concepto mal definido, pues ¿quién puede definir a Dios?: era el símbolo no sólo de la pasión de Einstein por la belleza y por lo maravilloso sino también de esa sensación intuitiva de comunión con el universo que fue el sello de su genio, otra palabra que no se deja definir.

Volvamos ahora a la respuesta de Bohr ante el argumento de Einstein, Podolsky y Rosen cuando decían que, observando el electrón A , se podía obtener, en teoría, información sobre el electrón B sin influir para nada en B . Recordemos los cambios de opinión sobre si convenía observar la posición o el impulso del electrón A , y la conclusión de que la posición y el impulso precisos de B deben tener realidad física al mismo tiempo, de lo que se deducía que la teoría cuántica era incompleta. Este razonamiento produjo gran preocupación a Bohr. Era mucho más ingenioso de lo que había pensado en un primer momento, y sólo tras un análisis agotador dio con la respuesta. Tuvo que retroceder un poco y dejar de recurrir a la perturbación del acto de observación. Como desarrollaremos más adelante, tenía que considerar un experimento como un todo único, un «solo fenómeno», como diría más tarde- que comenzaba y terminaba necesariamente en el mundo cotidiano. Su respuesta fue la siguiente. Supongamos que firmamos un contrato por adelantado obligándonos a medir, por ejemplo, la posición. Entonces no surgiría ningún problema nuevo, pues no habría cambios de opinión. Desde el primer momento el experimento estaría destinado a medir la posición y no el impulso. Si, por el contrario, firmáramos un contrato previo por el que nos comprometiéramos a medir el impulso, estaríamos haciendo un *experimento totalmente distinto*, en el que, en este caso, no entraría en juego la posición. Así pues, se habla de dos «fenómenos físicos» diferentes, en el sentido que daba Bohr a estas palabras. Ahora bien, seguía argumentando Bohr, en lo que respecta al fenómeno físico real o al experimento completo, no importa para nada que firmemos un contrato por adelantado o que cambiemos cada día de opinión y acabemos lanzando una moneda al aire. Lo que cuenta es el experimento total que hemos realizado, no el experimento distinto que no hemos hecho, ni los detalles de cuándo y cómo decidimos cuál de ellos hacer. Los dos experimentos son

fenómenos físicos que se excluyen mutuamente. Si hacemos uno, no podemos hacer el otro al mismo tiempo. Por consiguiente, decía Bohr, no podemos enfrentar el experimento que hemos hecho de verdad, fuera el que fuera- con el que no hicimos. Por eso no hay un conflicto real ni razones válidas para deducir que la mecánica cuántica es incompleta.

Einstein tuvo que reconocer que la postura de Bohr era lógicamente invulnerable. Pero lo era porque Bohr se había retirado a una posición inexpugnable. Había negado a Einstein el derecho de hacer sus confrontaciones conceptuales, y Einstein calificó la postura general de Bohr de solipsista⁷. Quienes rechazan el solipsismo no lo pueden hacer por razones lógicas. Sin embargo, lo rechazan. En el mismo sentido, Einstein rechazaba la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, basándose no en la lógica sino en el instinto y en la creencia.

Pero, con pocas excepciones, la mayoría de los científicos no la rechazaron. Cuando vieron que tenía coherencia y que resistía todas las críticas, la aceptaron con entusiasmo. Inmersos en el entusiasmo embriagador de buscar nuevas y apasionantes aplicaciones de la nueva teoría, no estaban muy dispuestos a dejarse inquietar de nuevo con dudas sobre sus cimientos. El artículo de Einstein, Podolsky y Rosen provocó cierta inquietud, pero sólo de momento: fue grande el alivio cuando Bohr dio con la respuesta. No fue el único en responder. Otros científicos de menor talla escribieron también para refutarlo, pero, como comentó Einstein con ironía, sus refutaciones eran todas diferentes.

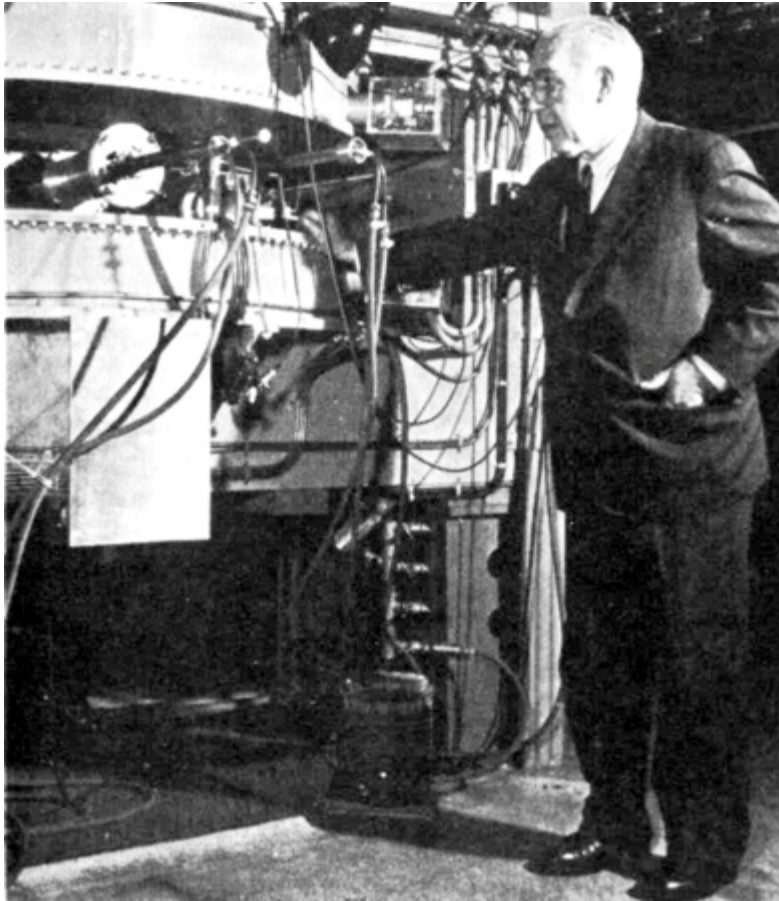
Antes de todo esto, la interpretación de Praga había adquirido casi la consideración de dogma. Quien se atreviera a ponerla en duda corría riesgo de verse ridiculizado y de perder su prestigio. Pocos podían resistir una presión tan fuerte. A Planck le disgustaba la corriente de Copenhague. De Broglie se rindió en seguida a ella, aunque lo hizo a regañadientes, y más adelante intentó dar marcha atrás. Schrödinger, tras ciertas vacilaciones, se opuso con todas sus fuerzas. Y Einstein,

⁷ Solipsista es la persona que cree que sólo existe él. tan sólo lo que él piensa y siente. Es inútil tratar de convencerle de que existimos dándole una bofetada. Dirá que tanto nosotros como la bofetada son producto de su imaginación. No hay forma de hacerle salir de su error.

como sabemos, se negaba a aceptarla. Pero los objetores eran pocos. La gran mayoría de los físicos cuánticos aceptaban la interpretación de Copenhague y tachaban de intransigentes a los pocos que no seguían su línea. Esta fase duró sólo veinte años. Pasados éstos, comenzaron a oírse nuevas voces de duda, y aunque la mayoría de los físicos cuánticos actuales siguen aceptando la corriente de Copenhague en una u otra forma, ésta ya no suscita la fidelidad ciega de sus días de esplendor. La verdad es que tampoco se ha llegado a un acuerdo en sentido contrario. Pero algunas defecciones importantes reflejan un malestar, y no precisamente pasajero, en el campo de la estricta ortodoxia.

Muchas veces se niega la existencia de problemas. Pero, por ejemplo Dirac, en una obra escrita en 1963, reconocía que había dificultades. No pensaba en una vuelta al determinismo clásico. Sin embargo, previendo progresos todavía desconocidos, decía: «Quizá sea imposible obtener una imagen convincente en esta fase transitoria actual.» La mecánica cuántica, tal como es interpretada por la escuela de Copenhague, tiene consecuencias que, como las de la relatividad, atentan contra el sentido común. He aquí un ejemplo gráfico propuesto por Schrödinger en 1935, que nos servirá de recapitulación. A modo de prefacio, recordemos que, según la interpretación de Copenhague, es imposible prever el momento en que se producirá la desintegración radiactiva de un núcleo atómico. Esto nos suena a algo conocido. ¿No utilizó Einstein esta misma idea en 1916 en su deducción, «sorprendentemente sencilla», de la fórmula de Planck? ¿No había dicho Einstein que los átomos emitían fotones espontáneamente y de forma imprevisible? Es más, Bohr se dejó influir en gran parte por esta obra de Einstein y había encontrado en ella la confirmación de la idea de que los procesos cuánticos son espontáneos, incausados e imprevisibles. ¿No serán la desintegración radiactiva y otras emisiones espontáneas ejemplos que demuestran que, por utilizar la expresión de Einstein, Dios juega a los dados? Según la escuela de Copenhague, sí. Según Einstein, no. Este había considerado la imprevisibilidad teórica como consecuencia del carácter incompleto de la teoría, que según él era transitoria: el fallo estaba en nosotros, no en nuestros átomos. Pero la escuela de Copenhague insistía en que las ecuaciones

cuánticas contenían toda la verdad, y prohibía, por *principio*, la predicción de los momentos precisos en que se producirían estos procesos espontáneos, por adelantado sólo podían conocerse las probabilidades.



El físico danés Niels Bohr (1885-1962). Su enfrentamiento con Einstein en torno a la teoría de la mecánica cuántica no se ha resuelto aún en favor de ninguno de los dos científicos.

Teniendo esto en cuenta, veamos el ejemplo de Schrödinger. Coloquemos a un gato en una habitación cerrada en la que haya un frasco de cianuro. Pongamos un átomo potencialmente radiactivo en un detector de tal manera que, si el átomo experimenta una desintegración radiactiva, el detector active un mecanismo que rompa el frasco y haga morir al gato. Supongamos que el átomo es de un tipo que tiene el 50 % de posibilidades de sufrir desintegración radiactiva en una hora. Al

cabo de la hora, ¿cómo estará el gato: vivo o muerto?

O una cosa u otra, o al menos eso es lo que nos parecería lógico. Pero según una interpretación frecuente de las matemáticas de la mecánica cuántica, tal como la entiende la escuela de Copenhague, al cabo de una hora el gato estaría en una especie de limbo, con las mismas probabilidades de estar muerto que vivo. Entonces podríamos echar una ojeada para ver si el gato está vivo o muerto. El simple hecho de mirar no parece razón suficiente para hacer que muera el gato ni, en caso de que hubiera muerto, para devolverle a la vida. El sentido común nos dice que el mirar no influye en este sentido: el gato está o vivo o muerto, independientemente de que miremos o no. Sin embargo, según la interpretación antes mencionada, el hecho de mirar produce una alteración radical en la descripción matemática del estado en que se encuentra el gato, haciéndolo salir de esa zona neutra para pasar a una situación en que esté categóricamente vivo o muerto, según sea el caso.

Supongamos que aceptamos la verdad matemática como descripción completa de los aspectos relevantes de la situación física. En ese caso, no sería fácil aceptar que el simple hecho de mirar al gato pueda originar un cambio tan drástico en la descripción matemática y, por tanto, en la situación física. Bohr evitó las dificultades insistiendo en que debemos considerar el fenómeno total como una sola entidad, que comenzaría y terminaría en el mundo ordinario, no cuántico, y en que el gato observado al final estaría categóricamente o vivo o muerto. No podemos quedarnos a medio camino en el terreno donde el quantum impone su ley y esperar dar un sentido cotidiano a un fenómeno físico inacabado.

Esta ingeniosa doctrina es inexpugnable, partiendo de sus propios principios. Nos niega el derecho a formar imágenes cotidianas de las fases cuánticas intermedias entre el comienzo no cuántico y el final no cuántico de un fenómeno total. Si nos rebelamos y, con Einstein, consideramos la mecánica cuántica como descripción incompleta de la realidad física, podemos considerar que estas dificultades son temporales, aun cuando no tengamos a mano una teoría mejor. Einstein admitió de buen grado los grandes méritos de la mecánica cuántica. En sus *Notas*

autobiográficas, la consideraba como «la teoría de más éxito de nuestra era*. Para él no era lo mismo éxito que aceptabilidad. Seguía desconfiando de su naturaleza probabilista. Desconfiaba de su indeterminismo intrínseco. Y, respondiendo a sus críticos en el mismo libro que contenía sus *Notas autobiográficas*, resumía los argumentos de su postura en una posición que resultaba convincente, o no, según las predilecciones de cada uno. Es demasiado pronto para adivinar cuál va a ser el resultado del enfrentamiento entre Bohr y Einstein, demasiado pronto para adivinar si los recelos instintivos de Einstein estaban justificados. El veredicto está en manos del imprevisible futuro.

No obstante, el veredicto intermedio parecía ser claramente contrario a Einstein. Este había ampliado el concepto de quantum expuesto por Planck en un momento en que todos, hasta el mismo Planck, recelaban de él; sus ideas revolucionarias sobre el quantum habían sido el factor decisivo que consiguió su aceptación inicial; había aceptado con alegría los conceptos revolucionarios de De Broglie que sirvieron de inspiración a Schrödinger; había estado en primera línea de la vanguardia científica; había sido el clarividente creador de nuevas corrientes de pensamiento cuando el futuro aparecía inmerso en las tinieblas; y ahora, los defensores de la física cuántica empezaban a considerarle como un conservador desfasado, un fósil que luchaba en vano contra una revolución inevitable en los principios básicos de la ciencia.

No es difícil comprender esta actitud de los físicos. La nueva mecánica \ cuántica había asimilado las audaces innovaciones cuánticas de Einstein y éste había pasado a adoptar una actitud crítica. Los fanáticos de la nueva corriente esgrimían contra él sus propias críticas, olvidando la importancia que habían tenido éstas en el perfeccionamiento de la interpretación de Copenhague. La teoría general de la relatividad de Einstein le había situado en un plano comparable al de Newton. Pero, a diferencia de la teoría restringida de la relatividad, la general no servía de mucho a los físicos atómicos. Sus pocas aplicaciones tenían que ver en mayor medida con los cielos que con el laboratorio, y cuanto más se adentraba Einstein en esta teoría y mayor era su generalización, más se alejaba de los intereses inmediatos de los

físicos atómicos. Su marcha de Europa en 1933 y el relativo aislamiento en que decidió recluírse en Princeton aumentaron su alejamiento de la corriente principal de la física. Sin embargo, aunque disminuyera su influencia entre los físicos, siguió siendo para el público el oráculo y símbolo supremo de la ciencia.

Mientras tanto, en Europa se estaban produciendo otros acontecimientos trascendentales, en el terreno científico y en el político. En 1919, estando todavía en Manchester, Rutherford había descubierto que si se producía una fuerte colisión entre núcleos de helio y nitrógeno, éstos podían transformarse en núcleos de hidrógeno y oxígeno: era la transmutación de núcleos no radiactivos, muy comunes y considerados hasta entonces como inmutables. El descubrimiento era muy importante, no cabe duda. Sin embargo, parecía más bien inofensivo. Se producía a escala microscópica, pues los experimentos afectaban a átomos individuales, y atrajo menos la atención del gran público que otro importante acontecimiento científico de 1919, la verificación de la teoría general de la relatividad de Einstein mediante las observaciones efectuadas por Eddington con ocasión del eclipse.

Al pasar los años, el descubrimiento de Rutherford adquirió nuevas dimensiones. Se comprobó que eran transmutables otros núcleos atómicos que hasta entonces se consideraban estables. En 1932, en el laboratorio Cavendish de Cambridge, cuyo director era Rutherford, ciertas transmutaciones nucleares individuales permitieron la primera verificación clara de la fórmula $E = mc^2$, un cuarto de siglo después de que Einstein la propusiera en 1907. En 1933, se realizó una verificación todavía más concluyente, pues en este caso la masa se convirtió toda ella, y no sólo parte de la misma- en energía⁸.

No cabía duda de que la intuición de Einstein era válida, y de que la masa resultaba ser un enorme depósito de energía. No extraemos demasiada energía cuando quemamos un puñado de carbón. Si el puñado es de arena no podemos ni quemarlo.

⁸ Esta terminología, la más cómoda y habitual, puede prestarse a confusión. Cuando «la masa se convierte en energía», hay tanta masa después de la conversión como antes. Primero hay una masa en reposo, cautiva. Luego, esta masa se libera en parte o en su totalidad y se convierte en masa que tiene forma de energía de movimiento o de radiación. El experimento de 1933 fue especialmente significativo. Aunque sólo se aplicaba a un caso concreto, lo que verificaba no era la propuesta de Einstein de 1905, según la cual toda energía tiene masa, sino más bien su trascendental afirmación de 1907: toda masa equivale a energía.

Sin embargo, en unos cien gramos de carbón, o de arena, o de cualquier otra cosa, hay energía equivalente a la que se puede obtener quemando toneladas de carbón. Varias toneladas. O mejor, varios cientos de miles de toneladas. ¿Podría utilizarse esta reserva de energía para fines prácticos? Es interesante que tanto Rutherford como Einstein respondieran negativamente. La extracción de energía de la masa nuclear suponía un inmenso despilfarro: para conseguirlo había que desperdiciar mucha más energía de la extraída.



Enrico Fermi (1901-1954) en la Universidad de Chicago. Este físico italiano inició las investigaciones atómicas que desembocaron en el descubrimiento de la fisión nuclear.

Sin embargo, en 1932, el mismo año en que se confirmó la fórmula $E = mc^2$ las transmutaciones nucleares estudiadas en Alemania y Francia habían llevado a

James Chadwick, del laboratorio Cavendish, al descubrimiento del neutrón, partícula eléctricamente neutra con una masa semejante a la de un núcleo de hidrógeno. Con el descubrimiento del neutrón, la situación cambió radicalmente, aunque nadie se dio cuenta de ello. Sólo hubo una excepción. Szilárd, antiguo alumno de Einstein, refugiado por entonces en Inglaterra, captó con sorprendente clarividencia lo que significaba el neutrón. Estos acontecimientos se produjeron en 1932 y 1933, coincidiendo aproximadamente con la subida al poder de Hitler y con la huida de muchos científicos de Alemania. Schrödinger, por ejemplo, a pesar de no ser judío, renunció a su cátedra de Berlín para instalarse en Dublín, mientras que Bohr se trasladaba de Gotinga a Edimburgo. Alemania experimentó una considerable fuga de cerebros.

En 1934, en la Italia fascista, Enrico Fermi y su equipo de colaboradores de la Universidad de Roma concibieron la idea de bombardear núcleos atómicos con neutrones. Estos, al ser eléctricamente neutros, podían aproximarse a los núcleos sin ser repelidos por la electricidad. Los resultados obtenidos, que valieron a Fermi la obtención del premio Nobel, no tienen demasiada relación con el tema que nos ocupa. Pero hizo algo que nos afecta muy directamente: bombardeó suavemente los núcleos más pesados y cargados de todos los conocidos: los del uranio. Creía haber creado un elemento desconocido hasta entonces —hoy día denominado neptunio-, pero no estaba seguro de ello.

Lo que no sabía era que había conseguido algo mucho más importante: la desintegración de los núcleos del uranio. El hecho siguió sumido en el olvido, como una terrible bomba de relojería que esperaba su momento mientras iban en ascenso las tensiones políticas. La Alemania nazi se estaba rearmando mientras que las democracias se limitaban a observar, aparentemente paralizadas. En marzo de 1936, cuando todavía no estaban preparadas para la guerra, los nazis invadieron Renania sin encontrar ninguna resistencia. Ese mismo año Bohr propuso una teoría de los núcleos atómicos en la que hacía ver que tenían muchas de las características de las gotas de un líquido. Y mientras tanto, en Berlín, en el Instituto *Kaiser Wilhelm*, instituto con el que Einstein había estado asociado anteriormente, los

químicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann y la física austríaca Lise Meitner venían repitiendo el bombardeo de neutrones de uranio, tal como lo había hecho Fermi, y buscando por todos los medios químicos posibles determinar si habían obtenido el nuevo elemento o no.

En marzo de 1938, ante una Europa temblorosa, los nazis alemanes se apoderaron de Austria mediante amenazas militares pero sin disparar un solo tiro. Lise Meitner, que era judía, se encontraba en evidente peligro. Sólo el hecho de ser extranjera la había salvado hasta entonces de las terribles leyes antisemitas de la Alemania nazi. Ahora que Austria, su tierra natal, era parte de Alemania, ya no era extranjera, y no le quedaba otro remedio que huir. Con ayuda de Bohr pudo refugiarse en el Instituto Nobel de Suecia, donde volvió a ser extranjera, pero en el que se encontraba a salvo.

En septiembre de 1938 se produjo el pacto de Múnich, acto estéril de apaciguamiento: llevadas por su interés de evitar la guerra con Alemania a cualquier precio, y quizá de empujar a Hitler a un enfrentamiento armado con Rusia, las desmoralizadas democracias europeas traicionaron a su aliada Checoslovaquia y la dejaron prácticamente en manos de los dictadores; en Inglaterra se alzó la protesta de Churchill, un Churchill que por entonces no tenía ningún poder.

Ese mismo mes de septiembre, Mussolini quiso emular a Hitler e introdujo leyes antisemitas en Italia, donde hasta entonces no había habido prácticamente oposición a los judíos. Y Fermi, harto ya del totalitarismo, comenzó a hacer planes para salir del país. Su esposa era judía.

En noviembre de 1938, en una semana de violencia y terror organizados, los nazis declararon la guerra a los judíos de Alemania. En diciembre, Fermi fue a Suecia con su familia para recibir el premio Nobel, y de allí se marchó a América, donde le estaba esperando una cátedra en la Universidad Columbia en la ciudad de Nueva York. Cuando quedaba menos de un año para la II Guerra Mundial, la bomba de relojería de Fermi comenzó a revelar sus secretos. Poco antes de las Navidades de 1938, Hahn y Strassmann publicaron un trabajo técnico en el que demostraban que

cuando se bombardean núcleos de uranio con neutrones relativamente lentos, aquéllos pueden emitir núcleos de bario, que sólo tienen la mitad de la masa de los de uranio. Los núcleos de uranio podían desintegrarse, algo que para la física tradicional parecía impensable, Hahn, desconcertado, informó de los detalles a Lise Meitner, que estudió el problema con su sobrino Otto Frisch, también refugiado de los nazis, y basándose en la idea de Bohr de que los núcleos se comportaban como gotas de líquido, resolvieron el problema en pocos días. Dadas las poderosas fuerzas de repulsión eléctrica existentes dentro de un núcleo de uranio, éste podía, en cuanto gota, estar tan próximo al límite de la inestabilidad que la entrada de un solo neutrón podía ser motivo de que éste se desintegrara en dos gotas más pequeñas, dos núcleos más pequeños-, Pero, ¡atención! Como consecuencia de su mutua repulsión eléctrica, estos núcleos tendrían que separarse con gran violencia. ¿De dónde podía proceder una energía tan violenta? La respuesta era la famosa fórmula de Einstein, $E = mc^2$. Sin la masa que pertenecía a la energía del movimiento violento, la masa combinada de los dos núcleos más pequeños resultantes sería significativamente menor que la del neutrón y la del núcleo de uranio original. Si la masa que faltaba reaparecía en forma de energía de movimiento, todo estaba claro. Los núcleos de uranio se habían desintegrado en dos mitades casi iguales, proceso que Meitner y Frisch llamaron *fisión*. Pero todavía más espectacular era la predicción de que la fisión debía ir acompañada de una liberación de energía que, a escala atómica, era asombrosa.

Los acontecimientos se precipitaron. En Copenhague, Frisch hizo el experimento decisivo que confirmó la existencia de la prevista explosión de energía. Pero antes de ello, había informado de aquella teoría a Bohr, que estaba a punto de marcharse a pasar una temporada en el Instituto de Estudios Superiores de Princeton. Bohr informó de la sensacional noticia a los científicos americanos. Era el mes de enero de 1939. La fisión del uranio se confirmó en varios lugares de Estados Unidos incluso antes de que se publicase el experimento de Frisch. Fermi fue uno de los primeros en darse cuenta de que entre los fragmentos de un núcleo de uranio desintegrado podía haber más neutrones. En ese caso, como había previsto Szilárd

seis años antes, estos neutrones podían producir nuevas desintegraciones del uranio y habría una remota posibilidad de que el proceso se convirtiera en una reacción en cadena, produciendo un desbordamiento de energía que tendría las dimensiones de un verdadero cataclismo.

A finales de marzo de 1939, con una Checoslovaquia dominada y una Polonia amenazada, los ingleses y franceses decidieron mantenerse firmes, declarando que si Polonia era atacada por Alemania acudirían en defensa de su aliado. Pero la firmeza llegaba demasiado tarde para salvar al mundo de su precipitada marcha hacia la tragedia. Mientras tanto, Fermi, Szilárd y otros profesores de la Universidad Columbia habían dado un nuevo paso hacia la bomba atómica al confirmar que en la fisión del uranio se producen neutrones.

Nadie podía saber todavía si era posible hacer una bomba atómica. Todo parecía estar en contra de tal posibilidad. Pero entre los físicos extranjeros que vivían en Estados Unidos, muchos de ellos refugiados del totalitarismo, la inquietud iba en aumento. Se daban perfecta cuenta de lo que ocurriría con la civilización si las dictaduras ganaban la carrera de la bomba atómica. La situación sería también mala aun en el caso de que fueran las democracias las que la ganaban. Pero era un riesgo que había que correr, y en abril Fermi intentó poner en antecedentes a la marina de Estados Unidos. No consiguió más que una reacción de cortesía.

Movido por presagios cada vez más negros, Szilárd consiguió la ayuda de su amigo Eugene Wigner, húngaro de nacimiento y profesor de física teórica en la Universidad de Princeton. A mediados de junio fueron a ver a Einstein, que estaba de vacaciones en Long Island, aislado en Nassau Point, cerca de Peconica, disfrutando con su barco de vela y al parecer ajeno a la posibilidad de una reacción nuclear en cadena. Quizá parezca trivial detenerse en este momento desesperado para repetir que a Einstein le encantaba tocar el violín. Sin embargo, su amor a la música forma parte de una reacción en cadena especial, pues había servido para fomentar la amistad entre él y la reina Isabel de Bélgica, ahora reina madre. ¿Quién podría haber previsto las extrañas consecuencias de los cuartetos interpretados en el palacio? ¿A quién se le habría ocurrido pensar entonces que tendrían alguna

relación con el hecho de que el entonces Congo Belga era la principal fuente mundial de mineral de uranio?



Einstein y Szilárd.

Cuando Szilárd y Wigner fueron a ver a Einstein, le hablaron del peligro de una posible reacción nuclear en cadena, con la intención inicial de pedirle que utilizara su influencia ante la reina madre para conseguir que los nazis no pudieran poner sus manos en el uranio del Congo Belga. Pero los hechos siguieron pronto un curso muy distinto, en parte porque el infatigable Szilárd había estado en contacto con un economista muy influyente, Alexander Sachs, quien le propuso algo mucho más ambicioso: llegar directamente al presidente Roosevelt. Hubo una nueva visita de Szilárd a Nassau Point, en esta ocasión acompañado por el físico húngaro Edward Teller. Einstein ayudó a redactar y luego firmó una carta dirigida a Roosevelt que después se haría famosa. Está fechada el 2 de agosto de 1939, tiene como remitente la tranquila localidad de Nassau Point, y decía, entre otras cosas:

«Ciertos trabajos realizados recientemente por E. Fermi y L. Szilárd, de los que

tengo información manuscrita, me hacen pensar que el uranio puede convertirse en una nueva e importante fuente de energía en un futuro inmediato. Algunos aspectos de la situación parecen merecedores de atención y, si fuera necesario, de una intervención rápida por parte de la Administración. Creo que es mi deber llamarle la atención sobre los siguientes datos... Es posible pensar... en la construcción... de nuevas bombas con una potencia muy superior a las actuales. Una sola de estas nuevas bombas, trasladada en barco o explotada en un puerto, podría destruir sin problemas todo el puerto, y parte del territorio circundante. Sin embargo, es posible que estas bombas sean demasiado pesadas para ser transportadas en avión... Tengo entendido que Alemania ha interrumpido la venta del uranio de las minas de Checoslovaquia, que ahora están en sus manos. La explicación de esta medida tan rápida puede ser que el hijo del subsecretario de Estado alemán, Von Weizsacker, trabaja en el Instituto *Kaiser Wilhelm*, en Berlín, donde se están realizando en la actualidad pruebas con el uranio.»

Es dudoso que Einstein hubiera llegado a firmar esta carta si su pacifismo no se hubiera visto mitigado ante la contemplación de un mal que para él era peor que la guerra. Cabría esperar que la carta, al proceder nada menos que de Einstein- tuviera una repercusión espectacular. Sin embargo, quedó un poco en segundo plano.

La Alemania nazi y la Rusia comunista venían proclamando desde hacía tiempo su odio mutuo. A finales de agosto de 1939 sorprendieron al mundo con un pacto de no agresión, gracias al cual Alemania pudo atacar a Polonia el 1 de septiembre, y, con ello, comenzaba oficialmente la II Guerra Mundial.

La carta del 2 de agosto no había llegado todavía a Roosevelt. Sachs no la entregó hasta el 2 de octubre de 1939, tres semanas después de que los nazis hubieran derrotado a Polonia. Roosevelt creó inmediatamente un Consejo Asesor sobre el Uranio que tuvo unos comienzos prometedores, pero en marzo de 1940 había conseguido tan pocos resultados que Szilárd y Sachs pidieron a Einstein que escribiera una nueva carta que pudiera ser presentada a Roosevelt. Así pues, el 7 de marzo, con ayuda de Sachs, Einstein escribió una segunda carta, que al menos fue más urgente que la primera. Roosevelt la recibió a los pocos días, y en abril

Einstein fue invitado a asistir a una reunión del Comité. El 25 de abril de 1940 escribió a su presidente declinando la invitación pero subrayando la necesidad de actuar con urgencia.

En mayo de 1940 los nazis invadieron Holanda y Bélgica, y para el 22 de junio habían conseguido la rendición de Francia. Luego vino la batalla de Inglaterra, que transcurrió en el aire y en la que los ingleses consiguieron imponerse por un margen mínimo. Pero se impusieron, y de momento se contuvo el avance victorioso de los nazis. Entonces, Alemania se volvió hacia el este, y el 22 de junio de 1941, a pesar del pacto de no agresión, invadió Rusia. Y el proyecto del uranio seguía todavía en punto muerto.

En febrero de 1939, Bohr, trabajando en Princeton con el físico americano John Wheeler, había previsto, basándose en su teoría de la gota líquida, que la desintegración no se podría realizar con todo el uranio, sino únicamente con una modalidad del mismo, y muy escasa por cierto. Esta predicción, poco aceptada por entonces, se había verificado en los años transcurridos desde entonces. La consecuencia era doble: una bomba fabricada con este uranio tendría grandes probabilidades de funcionar, y, dada la dificultad de extraer este uranio, la construcción de la bomba requeriría un complejo industrial de dimensiones colosales.

En Inglaterra, a comienzos de 1940, Frisch, sobrino de Meiner, de quien ya hemos hablado, y Rudolf Peierls, otro refugiado de la Alemania nazi, habían ya puesto en alerta a los ingleses ante la posibilidad de construir una bomba de estas características. Basándose en el trabajo de Bohr y de Wheeler, habían calculado la cantidad aproximada, sorprendentemente pequeña- de uranio que haría falta para provocar una explosión. Su obra cambió la inicial actitud de escepticismo de los ingleses y consiguió que Inglaterra obtuviera ciertos logros que influyeron luego en importantes decisiones de Estados Unidos. Por eso, dado el inicial retraso americano, es posible que, incluso aunque Einstein no hubiera escrito sus cartas de 1939 y de comienzos de 1940, Estados Unidos hubiera construido la bomba precisamente en el mismo momento en que lo hizo. Efectivamente, la decisión

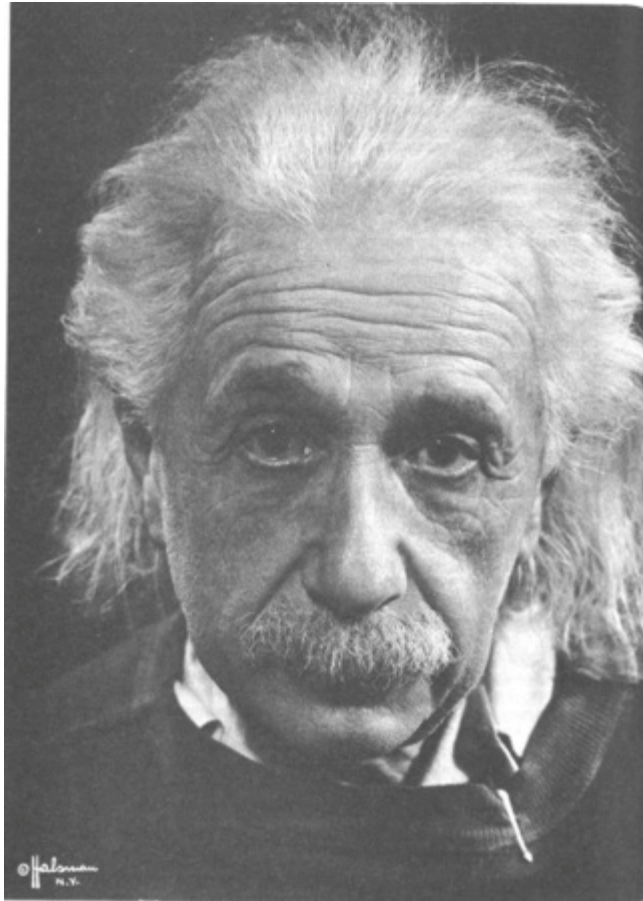
definitiva de lanzarse a fondo a su fabricación no se produjo oficialmente hasta el 6 de diciembre de 1941.

La mañana siguiente fue un día histórico: en el Pacífico los japoneses, totalmente al margen de la decisión, atacaron Pearl Harbor.

El resto del relato de la guerra y de la bomba se ha repetido tantas veces que no hace falta que volvamos a detenemos en él. Mientras los ejércitos se enfrentaban en el campo de batalla, y millones de personas indefensas, hombres, mujeres y niños, judíos y no judíos- eran torturadas y asesinadas en los campos de concentración, un grupo de científicos ingleses, americanos y refugiados, temerosos de que Alemania consiguiera el monopolio de las armas nucleares, unieron sus fuerzas en Estados Unidos para agilizar la construcción de la bomba. El 2 de diciembre de 1942 Fermi, al frente de un equipo de científicos, produjo en Chicago la primera reacción nuclear autónoma en cadena, la primera combustión nuclear realizada por el hombre- En 1943 Bohr, que tenía sangre judía, tuvo que marcharse de Dinamarca para huir de los nazis, que habían decidido su detención y deportación de Alemania, indicación aterradora de lo que podría haber sido el destino de Einstein si hubiera caído en manos nazis.- Tras varios viajes y aventuras, Bohr llegó a Inglaterra y desde allí se dirigió a América. Estuvo mucho tiempo en Los Alamos, donde J. Robert Oppenheimer dirigía un equipo cuya complicada misión era concebir la bomba.

Bohr fue de los primeros en intuir las terribles consecuencias que podría tener la fabricación de aquella bomba. En 1944 habló con Roosevelt y Churchill sobre los posibles problemas políticos de una bomba atómica, pero los resultados no fueron demasiados positivos. De hecho, hubo un momento en que Churchill, pensando equivocadamente que Bohr estaba pasando información a los rusos, habló seriamente de hacerle detener. Szilárd previó también los peligros con que se enfrentaba la humanidad. Como no tenía la misma influencia que Bohr, habló discretamente con Einstein, y el 25 de marzo de 1945, éste escribió a Szilárd una carta de presentación para Roosevelt. Con esa garantía, Szilárd podía presentar al presidente un informe detallado.

Así lo hizo. Pero no a Roosevelt. Este murió el 12 de abril. Si hubiera vivido unas semanas más, habría tenido conocimiento del suicidio de Hitler, cuyos sueños de conquista mundial se habían reducido a cenizas.



Albert Einstein en 1947. Halsman tomó la fotografía mientras conversaban sobre el uso destructivo que se había dado a sus teorías. A Einstein le oprimió siempre la idea de haber sido él quien dio el primer tirón a la tapa de la caja de Pandora. La instantánea ha captado la tristeza que refleja su mirada pensativa.

Cuando cayó Alemania, los investigadores comprobaron que los nazis no habían realizado demasiados progresos nucleares. Pero en América los planes habían avanzado demasiado como para detenerse, y el 16 de julio de 1945 se hizo una prueba en una zona desértica de Nuevo México, produciendo el primero de los hongos atómicos que han ensombrecido las perspectivas de la humanidad.

Ya hemos mencionado las cartas en que Einstein hablaba sobre la posibilidad de la bomba. Durante la II Guerra Mundial, actuó en ocasiones como asesor de la marina de Estados Unidos. Además, en noviembre de 1943, aceptó gustoso colaborar con dos de los manuscritos de sus artículos en una campaña para obtener fondos con destino a la guerra. Uno de los manuscritos solicitados era el de su famoso artículo sobre la relatividad, escrito en Berna en 1905. Pero en aquellos días lejanos Einstein no tenía costumbre de guardar sus manuscritos una vez que aparecían publicados. Decidió ofrecer lo más parecido al manuscrito original. Escribió el artículo de nuevo: lo copió mientras su secretaria se lo leía del original impreso. Es una escena graciosa: Einstein escribiendo lo que le dictaba su secretaria. En un determinado momento levantó la vista sorprendido y exclamó: «¿Eso he dicho yo?» Cuando le confirmaron que así era, respondió: «Podría haberlo hecho con muchas menos complicaciones.» Por desgracia, no sabemos a qué parte del artículo se estaba refiriendo. Cuando, el 3 de febrero de 1944, se presentó a subasta en Kansas City la copia manuscrita del famoso artículo, se pagaron por él unos seis millones de dólares, que fueron destinados a la financiación de la guerra. El otro manuscrito, el de un artículo todavía no publicado, se vendió por cinco millones y medio. Ambos manuscritos están ahora en la biblioteca del Congreso de Estados Unidos. En cuanto al manuscrito de la teoría general de la relatividad, se halla en la de la universidad hebrea de Jerusalén.

Pero, por muchas divagaciones que hagamos, tenemos que dar cuenta de un hecho trascendental: el 6 de agosto de 1945 se lanzó una bomba atómica sobre Hiroshima. La secretaria de Einstein oyó la noticia por la radio. Cuando Einstein bajó de su dormitorio para tomar el té de la tarde, ella se lo dijo. Su respuesta fue: «Oh *weh*», grito de desesperación mucho más profundo que un simple «¡Ay!».

Capítulo 11

Un marco más amplio

De la II Guerra Mundial volvemos a la primera. En 1917, cuando todavía no se habían realizado las expediciones para estudiar el famoso eclipse, Einstein aplicó su naciente teoría de la relatividad al universo en su conjunto. No al universo con todos sus misterios, con sus detalles y su amplia variedad; tampoco a las personas y a sus sueños y frustraciones, ni a los prados floridos de la Tierra, ni a la Tierra misma, ni al insignificante Sol que tanta importancia tiene en nuestras vidas, ni a cada una de las estrellas desparramadas por los cielos. La aplicó a un modelo abstracto, desnudo y pulido de toda aspereza, de la misma manera que representamos con un globo insensible y plácido a nuestra Tierra, que no es esférica y está en continuo conflicto.

Desde el primer momento, Einstein tenía la intención de lograr una teoría que se pudiera aplicar al universo. Pero, de momento, la aplicó al sistema solar. Luego, cuando intentó aplicarla al espacio infinito, tropezó con problemas inesperados. Por más que lo intentaba, no conseguía aplicarla a las distancias infinitas. Matemáticamente, su intento no revestía ningún problema. Pero Einstein era un físico y para él lo que no presentaba problemas matemáticos le inspiraba poca confianza en el terreno físico. Y tardaría bastante en superar esta barrera. En su artículo de 1917, el primero en que aborda la cosmología relativista, hablaba «del camino duro y tortuoso» que había tenido que recorrer para llegar a su solución radical del problema.

Para preparar a sus lectores, comenzaba exponiendo las conocidas dificultades que presenta la teoría de Newton si se considera a las estrellas como distribuidas más o menos uniformemente a través del espacio infinito. Es posible evitar las dificultades imaginando que las estrellas forman una especie de archipiélago difuso en el espacio infinito, y que están más dispersas a medida que aumenta su distancia del centro. Pero esta solución *insular* del problema newtoniano no agradaba demasiado a Einstein, que exponía algunos argumentos sencillos, aunque

penetrantes, en su contra. Por ejemplo, si a escala gigantesca, las estrellas son consideradas como partículas de gas, según la teoría de los gases, sería imposible que existiera semejante archipiélago difuso de estrellas: no podría contener materia. Otro argumento parecido, basado también en la teoría de los gases, insistía en lo siguiente: por un proceso semejante al de la evaporación, las estrellas romperían los lazos gravitatorios que las unen al centro y se escaparían hacia la inmensidad del espacio infinito, para no volver.

Estos argumentos no eran meros ejercicios de precalentamiento. Einstein los aplicaba, con otros muy diferentes, a la teoría general de la relatividad en un intento de llegar hasta el fondo del problema de la cosmología relativista. No es necesario insistir en los detalles. Siguiendo a Mach, Einstein afirmaba que un objeto adquiere inercia únicamente por la presencia del resto de la materia del universo. Llamaba a esto relatividad de la inercia. Todo su enfoque se basaba en ella y en un hecho de observación: las velocidades de unas estrellas en relación con otras eran en conjunto tan pequeñas que se podía decir que el universo es esencialmente estático. Esto último limitaba considerablemente las posibilidades y, tras ímprobos esfuerzos, Einstein se vio obligado a concluir que las distancias infinitas originaban problemas desde el punto de vista de la relatividad y de la doctrina de Mach. ¿Qué se podía hacer?

Evidentemente, si no hubiera distancias infinitas no podrían causar complicaciones. En consecuencia, Einstein decidió suprimirlas. Así de sencillo.

Pero, en realidad, no fue tan fácil. Era un remedio desesperado, utilizado únicamente como último recurso después de que le hubieran fallado todos los demás. Y para conseguir este objetivo, liberarse de las distancias infinitas sin vaciar el universo estático ni dejarlo con una herida abierta- Einstein comprobó que tenía que introducir un ligero cambio en sus ecuaciones del campo de gravitación, contaminando de esa manera la pureza de su hermosura. Les añadió un término simple multiplicado por una cantidad sumamente pequeña que designó con el símbolo λ , la letra griega lambda.

Todo esto está muy bien. Pero, ¿cómo se libraba Einstein de las distancias

infinitas? Como ocurriera anteriormente, los geómetras habían puesto ya a punto los medios teóricos. En su nuevo modelo del universo, Einstein concebía el espacio, con sus tres dimensiones, como una extensión finita, pero sin fronteras. Podemos imaginarnos su contenido esencial pensando en un espacio de dos dimensiones, en vez de tres. Imaginemos primero una superficie plana de extensión infinita. Si queremos desembarazarnos de sus distancias infinitas, podemos delimitar una región y dejar de lado todo lo demás; o podemos eliminar la mayor parte de la misma, dejando una parte con límites concretos, como esta página, por ejemplo. Por el contrario, pensemos ahora en la superficie de una esfera. Es finita. No tiene distancias infinitas. Sin embargo, no tiene límites ni fronteras ni zonas marginales. Todos los lugares de la misma son semejantes. No tiene nada que corresponda a un centro.

¿Nada que corresponda a un centro? Tiene que haber un error.

Pero no lo hay. La esfera tiene un centro, eso está claro; pero el centro no está en la superficie. Recordemos que, para entenderlo mejor, estamos hablando de dos dimensiones, no de tres; y debemos ser coherentes. Tenemos que imaginarnos no sólo el espacio sino también las estrellas y a nosotros mismos, todas las cosas como si fueran bidimensionales y ocuparan solamente la *superficie* bidimensional de la esfera. El único espacio existente es la superficie. Lo que consideramos normalmente como su interior y su exterior es como si no existiera —y la verdad es que no resulta fácil ver las cosas así. Supongamos, no obstante, que lo logramos. Tendríamos un espacio bidimensional, la superficie de la esfera— que es de extensión finita y sin embargo no tiene fronteras ni centro ni regiones al margen. El siguiente paso, el salto a las tres dimensiones, no podemos representárnoslo gráficamente. Como los geómetras. Einstein abordó el problema recurriendo a una analogía matemática formal. Se sirvió de un espacio cósmico tridimensional sin centro ni límites, pero de extensión finita, y le injertó una cuarta dimensión, el tiempo, que no es curva y tiene una extensión infinita.

Al eliminar de esta forma las distancias espaciales infinitas, Einstein resolvía brillantemente su problema cosmológico inmediato. Pero, al mismo tiempo, parecía

crearse otros nuevos. Su universo liso, considerado como un todo, tenía reposo absoluto, tiempo absoluto y simultaneidad absoluta, pues lo había basado en el supuesto de que las estrellas estaban en una relación mutua de reposo. Así pues, podría desempeñar, en cuanto grupo, el papel de marco de referencia cósmico en reposo absoluto y, por tanto, la simultaneidad de este marco de referencia podría pasar por absoluta.

Es sorprendente ver al propio Einstein introduciendo de esta manera el reposo absoluto y la simultaneidad absoluta. Al resolver su problema cosmológico inmediato, parecía echar por tierra toda su estructura anterior. Pero él sabía lo que hacía. Su innovación no era más catastrófica que su anterior transición de la teoría restringida a la teoría general de la relatividad, que supuso el abandono de la velocidad de la luz como realidad constante. En las aplicaciones no cosmológicas, su obra anterior se mantenía en pie. En cuanto al tiempo cósmico absoluto y al reposo cósmico absoluto, eran el precio que se atrevía a pagar para poder considerar al universo como un todo. Y los que más tarde ampliaron su obra pagaron un precio semejante.

Pero, ¿por qué había que pagar un precio? Porque sólo tenemos un universo. Los principios generales, por muy válidos que sean, se convierten por necesidad en particulares cuando tienen validez para un solo caso. Lo que los convierte en generales es precisamente su validez para situaciones distintas. Cuando nos atrevemos a tomar como objeto de nuestro estudio el universo en su totalidad, ¿dónde podemos encontrar casos distintos?

No en nuestras estrellas, sino en nosotros mismos. La variedad de universos posibles era demasiado grande para permitir cierta tranquilidad estética. Einstein no lo sabía por entonces. Tampoco sabía que las estrellas le habían engañado a él y a todos los demás y que lo que parecía un dato confirmado por la observación era una impresión falsa. Utilizando su X y su idea de universo especialmente finito y ocupado uniformemente por materia en reposo, sus cálculos le llevaron a pensar en un tipo único de modelo de universo. Era una concepción grandiosa. Pero antes de seguir adelante debemos subrayar la importancia del artículo publicado por

Einstein en 1917. Como veremos, tenía algún fallo, pero no debemos dejar que los descubrimientos posteriores disminuyan su mérito. Fue un acontecimiento importante y provechoso. Dio un nuevo giro a la cosmología y constituyó un primer paso de gigante que abrió un camino inexplorado. La marcha resultaría luego muy complicada, demasiado complicada para intentar exponerla en unas líneas. Nos limitaremos a señalar algunos de los momentos destacados.

Poco después de que Einstein diera el primer paso, De Sitter descubrió, en Holanda, una solución diferente de las ecuaciones cosmológicas de aquél, creando así una situación embarazosa. Resultaba que las ecuaciones de Einstein no llevaban a un modelo único del universo. Además, a diferencia del universo de Einstein, el de De Sitter estaba vacío. Iba contra la creencia de Einstein, desarrollo de las ideas de Mach, de que la materia y el espacio-tiempo están tan íntimamente ligados que ninguno de los dos pueden existir sin el otro.

El universo de De Sitter tenía propiedades desconcertantes. Por ejemplo, se concebía en forma de universo estático, independientemente de lo que esto pudiera significar, teniendo en cuenta que estaba vacío-. Pero, si se introdujeran furtivamente unas motas de polvo, dejando prácticamente intacto su vacío, podría decirse que estas motas se irían alejando a una velocidad cada vez mayor. En este sentido, era un universo en expansión y por tanto contrario a los datos astronómicos existentes.

En 1922 y en 1924 se produjeron progresos notables. El matemático ruso Alexander Friedmann encontró nuevas soluciones cosmológicas a las ecuaciones de Einstein. A diferencia del universo de De Sitter, los nuevos universos no estaban vacíos: a diferencia del de Einstein, no eran estáticos. Friedmann había descubierto la posibilidad relativista de universos no vacíos, unos en expansión, otros en contracción, y otros que pasarían de la expansión a la contracción. Además, aunque cada uno de ellos podía tener una extensión espacial finita, también podían ser espacialmente infinitos, con un espacio plano o uniformemente curvo. Era una solución llena de posibilidades. Sin embargo, los descubrimientos matemáticos de Friedmann tuvieron poco impacto inmediato. Ni siquiera Einstein se dio cuenta de

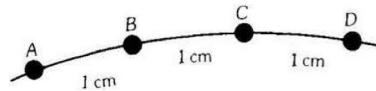
lo que significaban. Su primera impresión fue más bien negativa.

Poco antes, los astrónomos habían comenzado a admitir una nueva imagen del universo. Desde hacía tiempo habían llegado a la convicción de que nuestro sistema solar es una parte periférica y relativamente microscópica de una inmensa agrupación de estrellas que forman una nebulosa. Decimos que esta nebulosa es nuestra galaxia porque la vemos a simple vista en los cielos: es la Vía Láctea (la palabra galaxia deriva del término griego γάλαξίας = *lácteo*). En 1924 el astrónomo americano Edwin Hubble realizó una medición que confirmaba la opinión de que no todas las nebulosas están relativamente cerca de nuestra galaxia, y pronto surgió la imagen de un universo en que las estrellas se agrupan, por miles de millones. en nebulosas aisladas, distribuidas más o menos uniformemente a través del espacio. Si se pensaba en las nebulosas más que en las estrellas, la concepción de Einstein sobre una distribución uniforme de la materia por el espacio seguía siendo aceptable.

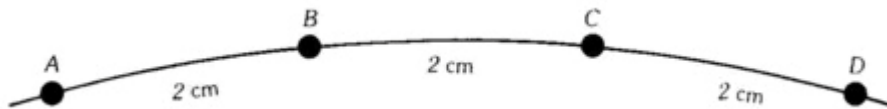
No ocurriría lo mismo con su hipótesis de un universo estático. Con ayuda del famoso telescopio de Monte Wilson (California), los astrónomos, y Hubble en especial, venían estudiando las distancias y movimientos de las nebulosas. En 1929 Hubble publicó datos que demostraban no sólo que las remotas nebulosas se alejaban, sino que lo hacían de forma ordenada. Cuanto mayor era la distancia, mayor era también la velocidad de recesión, y la proporción entre velocidad y distancia era casi la misma en todas las nebulosas estudiadas. Esta proporción recibió el nombre de *constante de Hubble*. En las más remotas de las nebulosas estudiadas, las velocidades de recesión eran enormes, llegando a superar los 2.000 km s. Considerando la enorme masa de una nebulosa, miles de millones de veces mayor que la del Sol, estas velocidades son pasmosas. Sin embargo, datos posteriores indicaban que eran muy inferiores a las velocidades de recesión de otras nebulosas más lejanas.

Si Einstein hubiera sabido esto en 1917, es posible que hubiera buscado un modelo de universo en expansión, y no estático: que hubiera concebido el espacio como el equivalente tridimensional de la superficie de un globo en expansión, y no de una

esfera rígida. Supongamos que concebimos las nebulosas como puntos que no se expanden y están situados en un globo en expansión uniforme. Lo más probable es que deduzcamos que, dado que la expansión es uniforme, todos los puntos se irán alejando a la misma velocidad sin salir de su superficie. Pero al momento nos daremos cuenta de que no es así. Pensemos en el caso elemental de una sucesión de puntos. A, B, C y D. cada uno de los cuales dista un centímetro del siguiente.



Imaginemos que en un segundo la distancia de un centímetro se convierte en dos. Entonces, aunque AB haya aumentado 1 cm en dicho segundo. AC ha aumentado 2 cm y AD 3 cm.



Por tanto, la velocidad de recesión aumenta en proporción a la distancia inicial, resultado que encaja perfectamente con las observaciones de Hubble sobre las recesiones de las nebulosas.

Pero en 1917 los científicos creían que las estrellas sólo tenían pequeños movimientos relativos, y esto había desorientado a Einstein. Sin embargo, no fue éste quien relacionó las nuevas observaciones de la recesión de las nebulosas con el descubrimiento de Friedmann de los universos en expansión, consecuencia de las ecuaciones de Einstein. Tampoco Friedmann. En 1927, el belga Georges Lemaître, que ignoraba la obra de Friedmann, propuso, basándose en las ecuaciones de Einstein, un universo que en principio era igual que el de Einstein pero que luego se expandía como el de Friedmann hasta convertirse, pasado un tiempo infinito, en un universo como el de De Sitter. También esta obra habría pasado inadvertida, se publicó en una revista poco conocida- si Eddington no la hubiera comentado en

términos elogiosos en 1930 y no hubiera logrado reimprimirla, traducida al inglés, en la principal revista británica de investigación astronómica, donde apareció en 1931. Por fin, la idea de un universo en expansión recibía el trato que se merecía, y de esta manera, aunque tarde, se reconocía el mérito de Friedmann.

Era reconfortante pensar que las ecuaciones de Einstein contenían la posibilidad de un universo en expansión. Pero había ciertos problemas. Friedmann había demostrado que las ecuaciones admitían una inmensa variedad de tipos de universos básicamente distintos. De hecho, en 1931, Lemaître se inclinó por un tipo de universo que tenía su origen en una explosión a partir de un pequeño glóbulo increíblemente denso al que dio el nombre de *átomo primitivo*. Pero se habían frustrado los sueños einsteinianos de un universo único. No le gustaba oír hablar de tantas posibilidades. Casi desde el principio, él, y De Sitter, habían considerado la adición del término X como una mancha estética. Ya en 1919, mediante un método ingenioso. Einstein había intentado liberarse de él, sin renunciar a su universo estático y cerrado, diciendo que el término X era «un grave inconveniente para la belleza formal de la teoría». En su artículo de 1917 ya había manifestado ciertas reservas al respecto. En su último párrafo decía: «Para llegar a esta visión coherente, hemos tenido que recurrir a una ampliación de las ecuaciones del campo de gravitación que no tiene ninguna justificación en nuestros actuales conocimientos sobre la misma. Sin embargo, conviene subrayar que nuestros resultados admiten una curvatura positiva del espacio aun cuando no se introduzca el término X . Este término sólo es necesario para posibilitar una distribución casi estática de la materia, como la que exigen las pequeñas velocidades de las estrellas.»

Cuando se comprobó que el último dato no era cierto, el término X perdió para Einstein su razón de ser. A partir de ese momento, se olvidó por completo de él. Con ello consiguió algo más que recuperar la belleza de las ecuaciones de la gravitación. Además, redujo a tres el número de tipos posibles de universos de Friedmann; y sólo uno de ellos sería cerrado y por tanto finito. En 1931 Einstein trató este universo único como si fuera la versión adulta de su idea inicial de 1917.

Podemos concebir este universo oscilante como la expansión explosiva de un glóbulo ardiente y compacto cuyos fragmentos, proyectados a gran distancia, van perdiendo velocidad en su vuelo, frenados por la gravitación, y se repliegan para formar una vez más un glóbulo compacto.

Pero si se prescindía del término X , la edad del universo sería de unos mil millones de años⁹, mucho tiempo en comparación con la vida de un hombre, e incluso con la vida del hombre, pero muy poco en comparación con la vida atribuida a la Tierra. Y difícilmente podía ser el universo más joven que ésta.

Si se conservaba el término X , como hizo Lemaître, por ejemplo, se podía ampliar la edad teórica del universo, y además contar con cierto margen para adaptarse a los cálculos de los astrónomos sobre su densidad media. Apoyándose en los datos de la observación, los especialistas insistían en la necesidad de X . Pero Einstein era inflexible. Para él, la belleza y la sencillez lógica pasaban por encima de todo. Confiaba en sus ecuaciones de campo sobre la gravitación más que en los datos astronómicos con los que estaban en conflicto. Y, en consecuencia, volvió a ser considerado como un científico desfasado, en esta ocasión, por los cosmólogos, que pensaban que su sentido de la belleza le había llevado por un camino erróneo.

En 1945, con ocasión de la segunda edición de su libro *The Meaning of Relativity (El significado de la relatividad)*, Einstein escribió un apéndice en el que resumía sus opiniones sobre la cosmología. Doce años antes había concluido, con De Sitter, que el problema de la finitud espacial era algo que debía decidir la observación. En este apéndice dejaba la pregunta en el aire. En cambio, se mantenía inflexible en la necesidad de prescindir de X . No dejaba ninguna salida. Decía tajantemente: «La edad del universo... debe superar, sin duda, a la de la corteza sólida de la Tierra, tal como se refleja en los minerales radiactivos. La determinación de la edad a partir de estos minerales es fiable en todos los aspectos, por lo que la teoría cosmológica que aquí presentamos quedaría desacreditada si estuviera en contradicción con dichos resultados. En este caso, no veo ninguna solución razonable.»

⁹ Utilizamos aquí las cifras admitidas una década más tarde. La diferencia, a pesar de su interés histórico, no afecta al contenido esencial.

Tres años más tarde, en parte como consecuencia del problema de la edad del universo, se propuso una teoría fascinante según la cual el universo no tenía principio ni fin, sino que se encontraría en un estado uniforme; para compensar el desgaste producido por la continua expansión, se daba en el espacio una creación continua de materia.

Sin embargo, poco antes de que Einstein escribiera el apéndice de 1945, las observaciones habían iniciado un importante progreso, y en los veinticinco años siguientes la edad del universo pasó a calcularse en miles de millones de años. Más en concreto, los cálculos de los astrónomos pasaron de unos mil millones de años a unos diez mil millones o más. De esta manera se eliminaba en parte el problema de la edad. Pero los cosmólogos preferían determinar el valor numérico de X a través de la observación, más que guiarse por una opinión caprichosa. Al principio, los datos indicaban que X no era cero. Pero en los primeros años setenta los datos eran más favorables a la posibilidad de que fuera cero y de que, en un sentido muy esquemático, el universo fuera del tipo oscilante preferido por Einstein en 1931. Muchos cosmólogos coinciden ahora con Einstein en su rechazo de X . Pero otros siguen hablando con desdén de esta opinión.

Si Einstein viviera, se mantendría a la expectativa, firme en su rechazo de X y esperando el momento oportuno, convencido de que su sentido estético acabaría por encontrar justificación. Tengamos también nosotros paciencia.

En 1916, antes de su aventura cosmológica, Einstein había comenzado a examinar las ondas gravitatorias. No es extraño que la teoría general de la relatividad, una teoría de campo, implicara la existencia de tales ondas. Pero por la misma naturaleza de la teoría, debían ser ondas del mismo espacio, rizados de curvatura que se desplazarían a la velocidad de la luz. O, en términos cuatridimensionales, arrugas congeladas de espacio-tiempo que adquirirían para nosotros una apariencia de movimiento debido a nuestro paso por el tiempo.

Es posible que el físico americano Joseph Weber haya detectado realmente ondas gravitatorias. Si sus resultados se confirman, habrá que calificar sus investigaciones de verdadero acontecimiento. Entre otras cosas, constituiría una de las

verificaciones más importantes de la teoría de la relatividad, verificación que se distinguiría claramente de todas las conocidas hasta ahora.

Pero, ocurra lo que ocurra, no podemos dejar de acordarnos de Maxwell, cuya predicción de las ondas electromagnéticas no se confirmó hasta después de su muerte. Las ondas de Maxwell iban a desempeñar un inesperado papel en el campo de la relatividad. Aunque muy tarde, suscitaron una nueva generación de observadores del cielo, los radioastrónomos, que utilizan radiotelescopios en vez de telescopios ópticos. Y sus observaciones han conseguido despertar el interés de los partidarios de la relatividad. Tendríamos que prolongar demasiado estas páginas para hablar aquí del quásar, del pulsar y de otros descubrimientos debidos a sus observaciones; o para reflejar de qué manera, gracias al perfeccionamiento de sus técnicas de medición, los experimentadores están invadiendo el campo de la teoría general de la relatividad y sometiéndola a pruebas cada vez más sofisticadas y precisas, y demasiado numerosas para enumerarlas.

No sabemos lo que deparará el futuro. Pero el descubrimiento de los pulsares ha confirmado la predicción teórica sobre la existencia de estrellas agotadas que explotarían en colapsos gravitatorios, dando origen a las estrellas neutrónicas, con una masa semejante a la del Sol, a pesar de tener un diámetro de sólo unos veinte kilómetros-, Y sigue en pie la predicción teórica de colapsos gravitatorios todavía más catastróficos que darían lugar a los «agujeros negros», cuya gravitación sería tan grande que hasta la luz que tratara de salir hacia afuera se vería obligada a caer adentro. ¿Existen los agujeros negros o sólo son ficciones derivadas de las ecuaciones relativistas? El tiempo lo dirá. La búsqueda no ha terminado.

Lo que se puede decir es lo siguiente: desde los primeros años setenta, más de cincuenta años después de su aparición, la teoría general de la relatividad ha resistido todas las comprobaciones experimentales y, tras varias décadas de ir por delante de su época, está comenzando a recibir el trato que se merece en medio del interés y del zafarrancho de la actual investigación cósmica.

Capítulo 12

Todos los hombres son mortales

Una vez más nos saltamos el estricto orden cronológico para volver a una época anterior. Con su llegada a Princeton, Einstein entró en la fase final de su vida, y pronto tendremos que hablar de sus momentos otoñales, algunos con el brillo maravilloso de los últimos resplandores del verano, otros marcados por la sombra glacial del invierno.

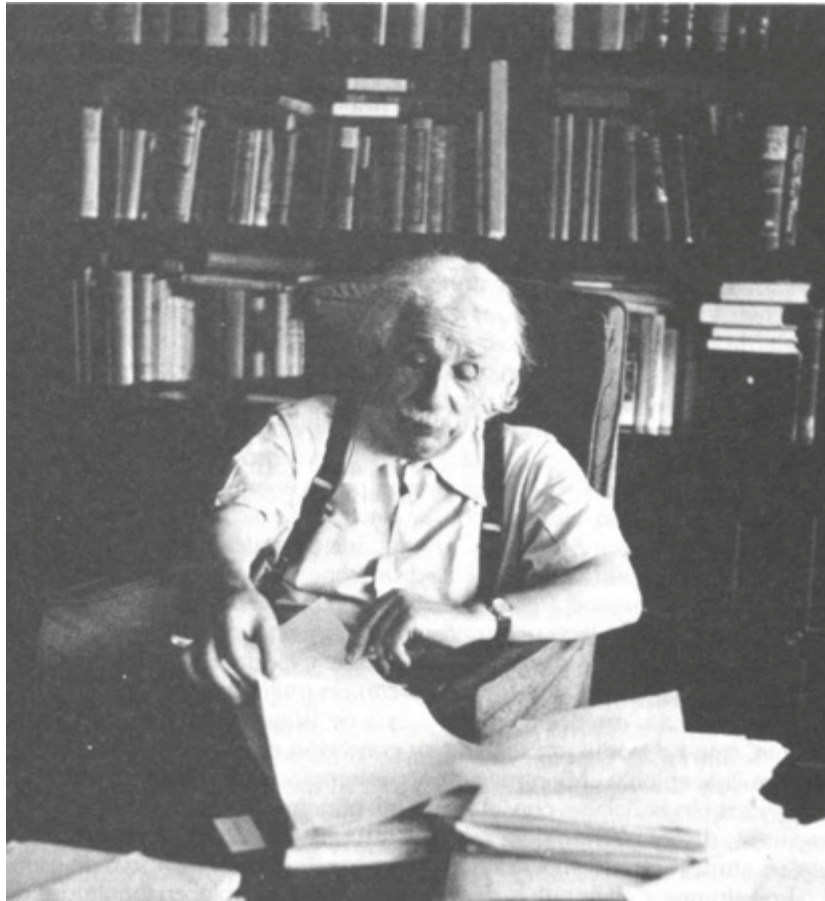
Dejemos que sean las propias palabras de Einstein las que nos pongan en ambiente. Es el año de 1918, marcado por el cansancio de la guerra. Todavía no se ha verificado la curvatura de la luz. Aún no le ha llegado la fama mundial. Einstein es feliz con su trabajo. Los científicos reconocen ya su genio. Sin embargo, la exaltación que expresa tiene cierto tono de tristeza. Está hablando de Planck en una celebración oficial de su sesenta cumpleaños, pero las palabras revelan algo del mismo Einstein:

«Creo, con Schopenhauer, que uno de los motivos más fuertes que llevan al hombre al arte y a la ciencia es la huida de la vida cotidiana, con su dolorosa brutalidad y su desesperada monotonía, de la esclavitud a los propios deseos, en continuo cambio. Una persona de buen carácter desea huir de la vida subjetiva al mundo de la percepción y del pensamiento objetivo; este deseo se puede comparar con la nostalgia que impulsa al hombre urbano a cambiar su entorno bullicioso y estrecho por las altas montañas, donde la vista divaga libremente por el aire puro y tranquilo, y localiza complacida los contornos tranquilos, que parecen contruidos para toda la eternidad.

Junto a este motivo negativo hay otro positivo. El hombre intenta hacerse, en la forma más conveniente, una imagen simplificada e inteligible del mundo: intenta, por tanto, sustituir con este cosmos suyo el mundo de la experiencia para así superarlo. Esto es lo que hacen el pintor, el poeta, el filósofo especulativo y el científico, cada uno a su manera. Todos ellos hacen de este cosmos y de su construcción el eje de su vida emocional, para encontrar así la paz y la seguridad

que no pueden hallar en el mundo demasiado estrecho de la turbulenta experiencia personal...

»La tarea suprema del físico es llegar a unas leyes universales y elementales a partir de las cuales se pueda construir el cosmos por pura deducción. No hay un sistema lógico para llegar a estas leyes; sólo la intuición, basada en una inteligencia comprensiva, nos permite acercarnos a ellas... El deseo de contemplar la armonía cósmica es la fuente de la perseverancia e inagotable paciencia con que Planck se ha consagrado... a los problemas más generales de nuestra ciencia...



Einstein en su estudio de Mercer Street, hacia 1946.

El estado mental que permite a un hombre realizar un trabajo de esta naturaleza es semejante al del creyente o al del amante; el esfuerzo cotidiano no procede de un programa o de una intención deliberada, brota directamente del corazón.»

En 1921 Einstein había escrito a un amigo: «El descubrimiento de gran envergadura es propio de los jóvenes... y, por tanto, en mi caso, algo ya pasado.» Sin embargo, entre 1917 y 1931 no estuvo ocioso. Ya sabemos el papel que desempeñó en la tumultuosa aparición de la mecánica cuántica y el aislamiento que se produjo como consecuencia de su batalla sobre la interpretación de ésta. En 1918, el famoso matemático alemán Hermann Weyl, profesor por entonces en el Politécnico de Zurich- propuso una ampliación de la teoría general de la relatividad tan natural e ingeniosa, que hubiera merecido mejor suerte de la que tuvo. Como consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo en la teoría de Einstein y de la consiguiente ausencia de líneas rectas, la dirección podía jugar malas pasadas. Para comprender la repercusión de la curvatura sobre la dirección, pensemos en la superficie curva y bidimensional de la Tierra. Imaginemos dos barcos muy alejados que salen del ecuador y navegan hacia el norte. Probablemente estaríamos de acuerdo en que eran paralelos al salir, y que, como ambos se dirigen hacia el norte, cada uno de ellos avanza directamente hacia adelante, sin desviarse ni a la derecha ni a la izquierda. Sin embargo, mientras los barcos se dirigen hacia el norte siguiendo los meridianos, cada vez se van acercando más. En ese caso, indudablemente negaríamos que permanecieran paralelos.

Sigamos con la analogía de los barcos. Weyl dijo que, como consecuencia del recorrido, podían cambiar no sólo las direcciones sino también las dimensiones, aunque no las formas, de los barcos, e introdujo esta especie de cambio de tamaño como una de las posibilidades del espacio- tiempo curvo, logrando con ello una alteración fundamental en su estructura geométrica. Nuestra primera impresión puede ser que si un matemático de talla desea jugar con estas ideas, tiene perfecto derecho a hacerlo. Pero Weyl estaba pensando en algo más. Demostró que con esta nueva estructura geométrica del espacio-tiempo podía ligar, sin deformar las cosas, la gravitación einsteiniana con la electrodinámica maxwelliana. Esto tiene gran interés para nosotros. Cuando Einstein trató la gravitación como una curvatura, no pudo atribuir al electromagnetismo una tarea geométrica igualmente fundamental. Pero Weyl, con sus cambios de longitudes, había hecho también del

electromagnetismo un aspecto de la geometría: un colega geométrico de la curvatura gravitatoria. De esta manera había construido lo que llamamos una *teoría del campo unificado*.

Matemática y estéticamente, la teoría de Weyl tenía gran valor. Pero Einstein, que no podía renunciar a su condición de físico, vio en seguida que era inaceptable. Mientras otros contemplan admirados la obra de Weyl, Einstein señalaba con el dedo su principal fallo: suponía que las longitudes de los objetos dependían de su pasado. En el espacio-tiempo, las «longitudes» pueden hacer referencia a longitudes de tiempo o de espacio. Los átomos emiten una luz cuyas pulsaciones establecen longitudes de tiempo bien definidas, como lo demuestra la existencia de líneas espectrales muy claras. Si los átomos hubieran tenido pasados muy diferentes, establecerían, según la doctrina de Weyl, distintas longitudes de tiempo, dando lugar *en masse* a manchas espectrales y no a líneas espectrales. De donde se deduce que no podemos manejar las longitudes en la forma propuesta por Weyl. Esta era la argumentación oficial de Einstein frente a la teoría de Weyl. En ella se ve la mano de un físico genial, que capta por instinto dónde está la clave del problema. Pero deja algo oculto. He aquí un fragmento de una carta dirigida en 1918 a Weyl y en la que presenta una objeción más profunda: «¿Podríamos acusar a Dios de incoherencia si no hubiera aprovechado la oportunidad descubierta por usted de armonizar el mundo físico? Creo que no. Si hubiera hecho el mundo tal como indica su plan, yo le habría dicho en tono de reproche: "Dios mío, si no estaba al alcance de tu poder dar significado objetivo a la igualdad de tamaños de los cuerpos rígidos separados, ¿por qué, oh Incomprensible, no has desdeñado... [conservar sus formas]?"»

Veamos de nuevo al gran físico en acción. Muy a su pesar. Weyl alejó su teoría del campo de la gravitación, y encontró para ella un refugio parcial en el campo del quantum, donde ofrecía relaciones satisfactorias con el electromagnetismo. En aquellas fechas sólo se conocían dos grandes «fuerzas» fundamentales: la gravitatoria y la electromagnética. Weyl había demostrado lo poco armónico que era tratar sólo a una de ellas como un aspecto de la geometría. Se iniciaba así la

búsqueda de un nuevo tipo de geometría que permitiera englobar a ambas. Esa fue la ocupación de Einstein hasta el final de sus días. Si hablamos aquí de algunas de las teorías del campo unificado propuestas por él y por otros, lo hacemos en parte porque, en su variedad, revelan un esquema común. En cuanto a Weyl, fue nombrado catedrático en Gotinga, pero al llegar los nazis al poder, decidió marcharse a Estados Unidos, donde fue colega de Einstein en el Instituto de Estudios Superiores.

Eddington elaboró una teoría del campo unificado con rasgos semejantes, pero más general que la de Weyl. En un globo, cuando hacemos un recorrido por la ruta más corta, resulta que dicho recorrido corresponde también a la ruta más recta permitida por la curvatura de la superficie. Esta relación entre «más recta» y «más corta», que se mantenía en el espacio-tiempo curvo de Einstein, fue desmentida por Weyl; lo mismo hizo Eddington en la teoría que propuso en 1921.

Pero ese mismo año T. Kaluza expuso en Alemania una concepción muy diferente. Introduciendo una quinta dimensión algo atrofiada, conservaba intactas las ecuaciones gravitatorias de Einstein, aunque aplicadas a cinco dimensiones en vez de a cuatro. Y, ¡sorpresa!, vinculaban la gravitación y el electromagnetismo sin más complicaciones.

En 1923 Einstein amplió la obra de Eddington. Pero pronto se sintió incómodo con lo que había hecho, y en 1925 presentó una nueva teoría del campo unificado. Esta vez se sentía muy optimista y en el párrafo introductorio escribió: «Tras una búsqueda incansable a lo largo de estos dos últimos años, creo haber encontrado la verdadera solución.» Su teoría se basaba en gran parte en la siguiente coincidencia aritmética: en una de las formas habituales de describir el electromagnetismo se utilizan seis cantidades de campo: el tensor métrico $g_{(\nu)}$ tiene cierta simetría; si se prescinde de esta simetría, nos encontramos automáticamente con dieciséis, en vez de con diez cantidades de campo. Si se emplean diez de estas combinaciones para la gravitación, sobrarán seis, precisamente el número de cantidades de campo con que se representa el electromagnetismo. Es una idea de Einstein que conviene recordar, teniendo en cuenta su evolución posterior.

Pasamos ahora a 1928, año de la muerte de Lorentz, por quien Einstein sentía gran respeto. Hablando junto a su tumba. Einstein no sólo le calificó de «genio», sino que lo definió como «el hombre más grande y más noble de nuestra época, [que] configuró su vida como una exquisita obra de arte, sin descuidar el más mínimo detalle »Años más tarde Einstein diría: «Todo lo que salía de este espíritu superior era lúcido y hermoso, como una buena obra de arte... Si los que éramos más jóvenes que él hubiéramos conocido a H. A. Lorentz únicamente como una mente privilegiada, nuestra admiración y respeto por él habrían sido singulares. Pero cuando pienso en H. A. Lorentz, siento una emoción mucho más profunda. Para mí, significó personalmente más que ninguna de las personas que he tenido ocasión de conocer a lo largo de mi vida.»

Einstein dijo esto en 1953, un cuarto de siglo después de la muerte de Lorentz, ocurrida en 1928.

En el mismo año 1928, como ya hemos visto, Einstein estuvo gravemente enfermo. Pero no interrumpió su trabajo. Esta era su medicina, su vida misma. A pesar de su entusiasmo inicial, había abandonado su teoría de 1925. Venía trabajando con la teoría de Kaluza y su enigmática quinta dimensión, que parecía no tener equivalente físico. Y ahora, en 1928, adoptó un nuevo enfoque de la teoría del campo unificado. Su nueva teoría, que recurría al «paralelismo a distancia», era en cierta forma lo contrario de la de Weyl. Recordemos que Weyl, ante la perturbación del paralelismo, había decidido modificar también las longitudes. Einstein, por el contrario, viendo que no se alteraban las longitudes, decidió introducir un paralelismo inalterado; la jugada consistía en hacerlo sin renunciar a la curvatura del espacio-tiempo. A comienzos de 1929 había resuelto los principales problemas que implicaba la elaboración de las ecuaciones de campo para su teoría del campo unificado. El día de la publicación oficial del tercero de una impresionante serie de nueve artículos técnicos sobre dicha teoría, comprensibles únicamente para los especialistas, aparecieron grandes titulares en los periódicos de todo el mundo. Un periódico de Nueva York conseguía una absurda primicia informativa publicando una traducción al inglés de tan complicado artículo, sin omitir sus numerosas

fórmulas. En este ambiente exaltado y poco científico, la teoría de Einstein fue celebrada por la prensa como un inmenso progreso científico. Sin embargo, Einstein había afirmado en su artículo que todo era provisional; y pronto descubrió que tenía que renunciar a aquella teoría.

A finales de 1930, él y su colaborador Mayer habían enviado a la imprenta un texto con una teoría muy distinta, cuyo objetivo era conservar la esencia de las cinco dimensiones de Kaluza sin abandonar las cuatro dimensiones. Pero también tuvo que renunciar a este intento. Y cuando llegó al Instituto de Estudios Superiores en 1933, él y Mayer estaban todavía buscando nuevas estructuras geométricas que pudieran servirles en su búsqueda de la unificación.

Hemos indicado antes la existencia de una especie de esquema común por debajo de la variedad de teorías del campo unificado. ¿Qué es lo que estas teorías tenían en común? Más correcto sería preguntar qué les faltaba a todas ellas. En sus primeros intentos de elaborar la teoría de la relatividad general, Einstein se había dejado llevar, por ejemplo, por su principio de equivalencia, que relaciona la gravitación con la aceleración. ¿Dónde había otros principios orientadores semejantes que pudieran llevarle a la construcción de una única teoría del campo unificado? Nadie lo sabía. Ni siquiera Einstein. Por eso, más que búsqueda lo que se produjo fue una serie de tanteos en la oscuridad de una jungla matemática insuficientemente iluminada por la intuición física.

En los años pasados en Princeton Einstein pensó muchas veces que por fin había conseguido la unificación que buscaba, para luego descubrir, mediante nuevos cálculos, que sus ecuaciones tenían consecuencias inaceptables. A pesar de ello, siguió avanzando impertérrito. Ernst Straus, que trabajó con Einstein en el Instituto de Estudios Superiores, traza de él esta brillante imagen: «Cuando me nombraron su ayudante, él continuaba trabajando en una teoría que había comenzado a investigar hacía más de un año. Luego estuvimos trabajando los dos en el mismo proyecto durante otros nueve meses más. Una tarde descubrí una serie de soluciones que parecían demostrar que aquella teoría no podía tener ninguna significación física. Estuvimos dándoles vueltas y más vueltas hasta que vimos que

la conclusión era inevitable. Aquella mañana salimos del trabajo media hora antes. Tengo que reconocer que me encontraba muy abatido. Me decía interiormente: si el peón está tan disgustado por el hundimiento del edificio. ¿cómo estará el arquitecto! Pero cuando llegué a trabajar a la mañana siguiente. Einstein estaba excitado e impaciente: "Esta noche he estado pensando y creo que el planteamiento adecuado es..." Era el comienzo de una teoría totalmente nueva, que luego iría a parar también a la papelera, tras medio año de trabajo y con tan pocas lamentaciones como las que había provocado su predecesora.»

Straus dice que «muchas veces, cuando [Einstein] encontraba algún aspecto satisfactorio, decía lleno de alegría: "Es tan sencillo que Dios no ha podido renunciar a ello".»

Durante cierto tiempo estuvo de moda la búsqueda de una teoría del campo unificado. Fueron muchos los matemáticos, tanto famosos como desconocidos, que lo intentaron, produciendo un número inmenso de teorías geométricas opuestas. Cuando comenzó a remitir la moda, Einstein siguió buscando con el mismo interés de siempre. Pero no conseguía encontrar ninguna orientación física, ninguna intuición mágica, y por ello muchos físicos miraban su larga búsqueda con desprecio mal disimulado. Pero Einstein recordaba los diez años de trabajo incansable, durante los cuales también tuvo que renunciar a muchas ideas que en principio le habían parecido prometedoras, que le habían permitido pasar de su teoría restringida a su teoría general de la relatividad. En su búsqueda de una teoría del campo unificado, sólo podía basarse en la incomparable experiencia de su vida y en su profunda convicción de que debía existir tal teoría, o, como decían los antiguos hebreos, de que el Señor es uno. Aquello fue más que suficiente para mantenerle en activo durante más de treinta años, a pesar de sus continuas decepciones. Es cierto que no había conseguido mantenerse a la altura de la evolución de la física y quizá no estuviera perfectamente informado de sus últimos progresos. Es cierto que comenzaba a flaquearle la inspiración. Es cierto que las ideas no fluían en su mente tan torrencialmente como cuando era más joven. Pero seguían fluyendo, y su búsqueda de una teoría del campo unificado fue una

demostración de la indomable ferocidad y tenacidad con que persiguió sus ideas a lo largo de toda su vida.

En 1936 recibió un duro golpe. Tras larga y penosa enfermedad había muerto Marcel Grossmann, sin cuya fiel amistad quizá no hubiera florecido nunca el genio de Einstein. Se estaban rompiendo los lazos con el pasado. Además, hacía tiempo que había desaparecido el interés inicial por la teoría general de la relatividad. Entre los físicos era una teoría en retirada. Sin embargo, Einstein siguió trabajando. Y en 1937, con el físico polaco Leopold Infeld y el autor del presente libro como colaboradores, publicó un descubrimiento de gran importancia: una consecuencia de la teoría general de la relatividad, que resaltaba su extraordinaria belleza y revelaba un aspecto de la misma en el que superaba a las demás teorías. Con total independencia y basándose esencialmente en un método distinto, que recurría a nuevos supuestos sobre la materia, el físico ruso Vladimir Fock publicó en 1938 un descubrimiento que era prácticamente el mismo. En el caso de Einstein, las raíces del hallazgo estaban en el trabajo que había realizado diez años antes con J. Grommer, pero la idea había ido madurando en la mente de Einstein hasta convertirse en un concepto de increíble sutileza. Los nuevos cálculos eran tan amplios y complejos que sólo se pudieron publicar sus líneas generales. Los cálculos completos quedaron depositados en la biblioteca del Instituto de Estudios Superiores, a disposición de los especialistas que quisieran consultarlos. Sin embargo, lo esencial se puede resumir en una descripción sin complicaciones.

Las ecuaciones del campo de gravitación limitan la curvatura del espacio-tiempo. Son posibles algunos tipos de curvatura, otros no. Una comparación algo elemental sería la de una hoja de papel. Podemos doblarla de muchas maneras, pero no podemos hincharla. Pensemos ahora en un cuerpo astronómico que tenga gravitación. Si está solo, podría asociarse con una curvatura característica del espacio-tiempo, que podemos representar esquemáticamente como se ve.



Pero supongamos que tenemos varios cuerpos graves. Si cada uno de ellos

mantuviera intacta su curvatura característica del espacio-tiempo, las curvaturas no coincidirán, como se aprecia en la figura siguiente:



Es evidente que tenemos que modificarlas si queremos que se fundan de manera armoniosa:



¿Cómo averiguamos la manera de conseguir este resultado? Consultamos las ecuaciones de campo. Pero éstas son más rígidas de lo que se piensa. Admiten una fusión armoniosa de las curvaturas únicamente en el caso de que las líneas universales de los cuerpos graves giren en torno a sí mismas en espiral y siguiendo ciertas reglas; o, en términos más cotidianos, si los cuerpos graves se mueven de formas muy determinadas.

¿Cuáles son estas formas? Quizá lo haya adivinado el lector. Son, en esencia, las formas permitidas por la teoría de la gravitación de Newton. No con toda exactitud, claro está. Hay algunas desviaciones. Y éstas reflejan la diferencia entre las teorías gravitatorias de Newton y las de Einstein.

El resultado es importante. Pero si nos conformamos con esto, habremos dejado escapar su significación más profunda. La teoría de Newton tenía dos partes distintas: una ley de la gravitación y las leyes del movimiento. Algo parecido ocurría con la de Maxwell: ecuaciones del campo electromagnético más las leyes del movimiento de Newton, más una fórmula ajena que expresa, a modo de intermediario, lo que se conoce como fuerza de Lorentz. También la teoría de Einstein parecía estar dividida hasta entonces: las ecuaciones del campo de gravitación y una regla de «atajo» para los movimientos planetarios, una regla provisional en la que los planetas son tratados como partículas sin ninguna

curvatura propia del espacio-tiempo. Ahora podía comprobarse que la teoría de Einstein no tenía tal división. Las ecuaciones del campo de gravitación controlaban el movimiento, y lo hacían no sólo con pequeñas partículas sino con inmensos objetos graves dotados de curvaturas propias. Las ecuaciones de campo no necesitaban reglas suplementarias. Eran autosuficientes. La estructura de la teoría tenía así mayor economía de reglas, mayor sencillez, mayor homogeneidad, y mayor belleza artística de lo que Einstein había imaginado al construirla unos veinte años antes.

¿Qué ocurriría si se colocasen las ecuaciones del campo de Maxwell en el marco de la relatividad general? La magia einsteiniana del movimiento actuaba aquí todavía más poderosamente que antes. De las ecuaciones de campo autosuficientes surgía, junto con el movimiento, la fuerza de Lorentz, que dejaba de ser una intrusa.

Mientras se realizaban estos cálculos tan complicados, se produjeron sorpresas desagradables. Las cosas no salían tal como se había previsto. La situación parecía a veces tan desesperada que los colaboradores de Einstein llegaban a desanimarse. Pero él jamás se dejó dominar por el desaliento, y parecía que nunca le fallaban los recursos de la inventiva. Venía trabajando en este problema desde hacía por lo menos diez años, y para él una contrariedad no era nunca una derrota. A sus colaboradores, con menos experiencia y más proclives al desánimo, les decía, riendo, que si el mundo había esperado tanto tiempo a que madurara la idea, unos meses más o menos no iban a cambiar demasiado las cosas: y que si, al final de todo, resultaba que la idea no era válida, tampoco sería ninguna tragedia, con tal de que se hubiera hecho todo lo posible.

En correspondencia con las tres dimensiones del espacio, hacen falta tres ecuaciones para el movimiento de una partícula. Pero las ecuaciones cuatridimensionales del campo de gravitación, que son autosuficientes, darían probablemente cuatro ecuaciones por partícula. Para los colaboradores de Einstein esto era una grave amenaza de cara al éxito del proyecto. Pero no para Einstein. Vio en ello una posibilidad extraordinaria: la ecuación suplementaria, al estilo de la teoría de Bohr, de 1913, sólo permitía unas órbitas determinadas. Tendría gracia

que, después de la batalla con Bohr, la teoría cuántica que éste había formulado en sus comienzos y ciertos efectos cuánticos análogos estuvieran contenidos en la teoría de la relatividad general de Einstein. Por desgracia no fue así. La cuarta ecuación imponía restricciones. Pero esta esperanza no realizada manifiesta la persistencia y la amplitud multiforme del frente en que Einstein combatía por la unidad física.

Hubo momentos en que se sintió completamente desorientado. En tales casos, cuando, en medio de una acalorada discusión, parecía imposible salir del punto muerto. Einstein decía tranquilamente en su inglés pintoresco: «*I will a little tink*» (es decir. *I will think a little*: «pensaré en ello un poco»), pues no sabía pronunciar la *th*. Luego, en medio del silencio que se hacía de repente, caminaba lentamente de un lado a otro de la habitación o dando vueltas, sin dejar en ningún momento de jugar con un rizo de la cabeza. Su rostro adquiría una expresión somnolienta, lejana y pensativa. No se adivinaba ninguna señal de nerviosismo, ninguna huella de su intensa concentración ni de la apasionada discusión producida poco antes. Sólo reflejaba una tranquila comunión interior: era Einstein trabajando en su punto culminante. Pasaban varios minutos. Y luego, de repente, aterrizaba de nuevo, con una sonrisa en la boca y una respuesta al problema, pero sin mencionar para nada el razonamiento, si es que lo había habido- que le había llevado a aquella solución.

El 20 de diciembre de 1936, tres años después de que Einstein hubiera cambiado Europa por Princeton, murió Elsa, su mujer. Abrumado por el dolor, Einstein decidió continuar con su trabajo, diciendo que lo necesitaba entonces más que nunca. Sus esfuerzos por concentrarse le sirvieron de muy poco al principio. Pero había conocido el dolor y sabía que el trabajo podía ser un antídoto valiosísimo. Mucho antes de que comenzara la II Guerra Mundial, Einstein, lo mismo que Bohr y otros científicos, había hecho todo lo posible por ayudar a quienes querían huir de la Alemania nazi. Elsa Einstein había colaborado también en estas actividades. A este respecto es interesante el caso de Boris Schwarz, el violinista de quien ya hemos tenido ocasión de hablar. El funcionamiento de una burocracia es demasiado complejo para explicarlo adecuadamente en el marco de un libro consagrado a

Einstein. El caso es que Boris Schwarz y sus padres, nacidos en Rusia, habían adquirido la nacionalidad alemana. Sin embargo, los nazis les retiraron su nueva nacionalidad, después de todo, eran judíos. En virtud de esta decisión, los Schwarz pasaron a ser apátridas y, como tales, eran más o menos igual de vulnerables que los demás judíos. En Alemania, se les había prohibido dar conciertos, excepto ante sus correligionarios. Pero les entregaron pasaportes de apátridas, que les daban la posibilidad de marcharse al extranjero, siempre que pudieran conseguir un visado. Ahora bien, para conseguir uno de esos visados, debían estar en posesión de un permiso que les autorizara a regresar a Alemania. Aunque les habían retirado la nacionalidad alemana, los nazis no negaron a los Schwarz tales permisos, ofreciéndoles así la posibilidad de ganarse la vida dando conciertos de violín en el extranjero.

Pero cada vez se veía más claro que estaban gravemente amenazados. Peligraban sus bienes y hasta sus vidas. Desesperados, entraron en contacto con el pastor de la Iglesia americana de Berlín, que escribió a los Einstein. Los Schwarz recibieron entonces de América una carta muy cariñosa, fechada el 25 de agosto de 1935 y firmada por Elsa Albert, seudónimo que no tuvieron ninguna dificultad en reconocer. El peligroso nombre de Einstein no aparecía por ninguna parte. Siguieron llegando cartas, a pesar de que Elsa Einstein estaba gravemente enferma. Durante este tiempo, Einstein utilizó su influencia y, a comienzos de 1936, Boris Schwarz recibió una comunicación inesperada de la embajada de Estados Unidos en Berlín: le esperaba un visado de entrada en Estados Unidos. La demanda de visados era muy grande y la oferta muy escasa. Einstein, para conseguir este resultado, había tenido que hacer algo más que utilizar su influencia. Se había visto obligado a firmar una declaración jurada garantizando que si Boris Schwarz iba a Estados Unidos, no se convertiría en una carga pública. Como en varias otras ocasiones, Einstein ofreció como garantía sus recursos personales. Pero, en el caso de una persona que no fuera familiar, no bastaba con una sola declaración jurada. Einstein consiguió que un importante banquero americano firmara también la garantía en favor de Schwarz. Ni con tantas garantías resultaron fáciles las cosas.

Cuando Schwarz fue a la embajada de Estados Unidos le dijeron que demostrara que de verdad conocía a Einstein. En la embajada no sabían si él, o Einstein, tanto da- estaban diciendo la verdad cuando afirmaban que se conocían. Eran años muy difíciles y las normas de entrada en Estados Unidos eran rigurosísimas. Los funcionarios de la embajada no podían permitirse correr riesgos. En cambio, a Einstein el riesgo le importaba muy poco. Por fortuna, existían pruebas incontrovertibles. Schwarz demostró las fotografías en que aparecían, él, su padre y Einstein tocando juntos. Finalmente, le concedieron el visado y Schwarz logró entrar en Estados Unidos, donde Einstein había hablado ya con el director Eugene Ormandy, entre otros, para intentar ofrecerle un puesto. Ormandy se sintió muy honrado por la petición de Einstein, le prometió hacer todo lo que pudiera y se atrevió a pedir también algo: una foto de Einstein.

Una vez que Boris Schwarz llegó a Estados Unidos, sus padres pudieron seguirle en seguida, y de esta manera se reunió felizmente el trío de Berlín. Mientras tocaban juntos en Princeton, Einstein se sentiría doblemente feliz pensando que les había salvado de una muerte casi segura en las cámaras de gas nazis.

Los Schwarz tuvieron mucha suerte. Su caso no representa lo que podríamos considerar como destino normal de los judíos sometidos a los nazis. Nos hemos detenido en él con cierto detalle para poner un ejemplo de los infatigables esfuerzos de Einstein para ayudar a sus amigos, a antiguos colegas e incluso a desconocidos, a huir de la persecución nazi. De hecho, fueron tantas las declaraciones juradas que escribió que durante cierto tiempo sufrieron una especie de inflación que redujo considerablemente su valor. Sin embargo, de una u otra forma, muchos hombres debieron sus vidas a la intervención de Einstein.

El caso de Infeld no entra dentro de esta misma categoría, pero tiene cierta relación. Infeld, a pesar de su talento como físico, a pesar de su trabajo conjunto sobre las ecuaciones del movimiento, y a pesar de los esfuerzos del propio Einstein, no consiguió encontrar un puesto de trabajo en América. Para ayudarlo, Einstein colaboró con él en un libro, *The Euolution of Physics*, que se publicó en 1938. Describía al profano el majestuoso desarrollo de la ciencia física desde el punto de

vista del hombre que había revolucionado el pensamiento científico, manteniendo al mismo tiempo una continuidad sorprendente con las grandes corrientes del pasado. El libro tuvo gran éxito, y Einstein dijo a Infeld: «Ya te has salvado.» Es indudable que el libro contribuyó en buena parte a que Infeld consiguiera empleo en Canadá.

Ya hemos mencionado la carta del 2 de agosto de 1939 en la que Einstein informaba a Roosevelt sobre la posibilidad de conseguir una bomba de uranio. Una semana más tarde, el 9 de agosto, Einstein escribe preocupado a Schrödinger. No le habla de la bomba, sino de otro problema inquietante, la interpretación de la mecánica cuántica. Tras felicitar a Schrödinger por su argumento sobre el gato sumido en una especie de limbo cuántico, ni del todo vivo ni del todo muerto, Einstein habla de «el místico, se refiere a Bohr- que rechaza, por poco científica, la investigación de algo que existe independientemente de si es o no observado; es decir, el problema de si el gato está o no vivo en un instante concreto, antes de realizar la observación». En esta carta Einstein repite dos veces que está «más convencido que nunca» de que la mecánica cuántica constituye una descripción incompleta de la realidad. Poco antes de terminar hace la siguiente afirmación, que parece referirse no sólo a los problemas del quantum sino también a sus esperanzas de resolverlos mediante una teoría del campo unificado: «Te escribo, dice Einstein, y recordemos que se dirige a uno de sus más firmes seguidores- no porque tenga esperanzas de convencerte, sino con la única intención de exponerte mi punto de vista, que me ha condenado a una profunda soledad.»

Tres días más tarde, Einstein escribió a la reina madre de Bélgica. Tampoco le hablaba del uranio, sino de su añoranza de Europa, del placer que sentía en su barco de vela o con la música de cámara, y de las ventajas de la soledad.

En 1935 la familia Einstein había pasado una breve temporada en las Bermudas, como condición para volver a Estados Unidos con visados permanentes. El 22 de junio de 1940, tras la inevitable espera de cinco años, Einstein, su hija Margot y su secretaria pasaron el examen previo a la obtención de la ciudadanía americana. El 1 de octubre prestaron juramento, siendo a partir de entonces ciudadanos de Estados

Unidos. La batalla de Inglaterra estaba en su momento álgido y la supervivencia de la civilización corría grave peligro. La situación mundial no era muy halagüeña. Unos meses antes, Francia se había rendido a los nazis, precisamente el día del mencionado examen. Un año después, y en la misma fecha del 22 de junio, los nazis invadían Rusia, y parecía que el nazismo estaba a punto de conseguir la victoria. Pero, como es bien sabido, los acontecimientos cambiaron pronto de signo. Quizá sea éste el momento adecuado para recordar una teoría, errónea y poco conocida, formulada por Einstein tres años más tarde.



Einstein con su hija Margot y su secretaria, Helen Dukas, mayo de 1947.

Por entonces tocaba a su fin la guerra en Europa. El 6 de junio de 1944, mientras los rusos atacaban en el este, norteamericanos, ingleses y canadienses atravesaban el canal de la Mancha en una gigantesca operación anfibia, que permitía crear una

cabeza de playa en Normandía y echaba por tierra el sueño de Hitler de conquistar el mundo. En noviembre, los ejércitos alemanes atravesaban graves dificultades y se retiraban rápidamente en ambos frentes. El 16 de diciembre de 1944, los alemanes lanzaron en el oeste un contraataque por sorpresa, que estuvo a punto de romper las líneas aliadas en las Ardenas. Al tener conocimiento del ataque, Einstein se alarmó muy seriamente. Su razonamiento era el siguiente: todos los datos parecían indicar que los nazis habían perdido definitivamente la guerra. ¿Qué sentido podía tener que estuvieran dispuestos a perder más vidas lanzando un contraataque que no iba a servirles de nada? Alguna razón debían de tener. Einstein concluía que los alemanes habían obtenido lo que él denominaba «la bomba radiactiva» y no les importaba perder algunos hombres más con tal de ganar el tiempo necesario para poder utilizarla. La verdad era que los alemanes no tenían tal bomba y que el ataque había sido ordenado personalmente por Hitler, que quería jugar una última baza desesperada.

Al comprobar el fracaso del contraataque nazi y ver que no utilizaban explosivos nucleares, Einstein pudo llegar a la conclusión de que los nazis no habían conseguido producir una bomba atómica que se pudiera utilizar en la práctica. Pero seguía en pie el peligro de una bomba americana, y cuando se produjo la tragedia de Hiroshima vio confirmados sus temores. La amenaza de la bomba, estuviera en manos de poderes dictatoriales o democráticos, era una pesada carga para su conciencia. No por haber escrito en tono apremiante a Roosevelt, cuando, en 1939, temía que los nazis consiguieran antes la bomba y de esa manera llegaran a controlar el mundo, ni por haber propuesto, con toda inocencia, la fórmula $E = mc^2$ en 1907, sino porque, al ser un hombre con gran influencia ante la opinión pública, se sentía moralmente obligado a utilizar a fondo todo su prestigio para intentar salvar a la humanidad de una amenaza que, a pesar de lo ocurrido en Hiroshima y Nagasaki, no llegaba a comprender.

Siempre que podía, y las ocasiones eran muchas dado el interés que provocaba su persona, ponía en guardia ante el peligro que acechaba y defendía con entusiasmo la causa de un gobierno mundial. En 1946, varios científicos de primera línea se

unieron para formar un Comité de Emergencia de Científicos Atómicos, y pidieron a Einstein, a un Einstein cuyas opiniones sobre mecánica cuántica rechazaban y cuya búsqueda de una teoría del campo unificado era recibida entre ellos con indiferencia o burla, pero un Einstein que era el más famoso de todos ellos- que aceptara la presidencia; aceptó sin vacilaciones. Querían ganarse la atención del público y de los políticos más influyentes. Necesitaban también fondos para realizar la enorme tarea educativa de convencer a la población de algunas verdades elementales, por ejemplo de que América no tenía el monopolio inviolable del «secreto» de la fabricación de la bomba, de que era imposible evitar que otras naciones lo descubrieran por su cuenta, y de que había quedado desfasada la estructura política del mundo. El nombre de Einstein era una garantía incomparable para obtener fondos y para conseguir el interés de la opinión pública.

Se entregó sin reservas a numerosas actividades, e insistió con fuerza en la creación de una fuerza militar supranacional que permitiera conservar la paz entre las naciones. Para muchos, esta idea era una empresa desesperada. Se había propuesto en momentos de menor peligro, sin ningún resultado. ¿Qué posibilidades había de que fuera aceptada en aquel momento, a pesar de la amenaza de extinción que pesaba sobre la humanidad? Sin embargo, para Einstein la única esperanza de la especie humana estaba en la instauración de esta autoridad mundial.

Al margen de sus apasionados esfuerzos por hacer ver el peligro que significaba la desunión del mundo, había fantasmas que se negaban a desaparecer. Einstein, que había predicado ardientemente la reconciliación después de la I Guerra Mundial, que había criticado a los que, en uno u otro bando, se aferraban a sus viejos rencores, este mismo Einstein, un Einstein distinto- nunca perdonó a la Alemania nazi sus atrocidades contra los judíos. Ya en 1933, en el momento de renunciar a su puesto en la Academia de Prusia, que había formulado falsas acusaciones contra él, escribió a Planck: «... En todos estos años he defendido siempre el prestigio de Alemania y nunca me he dejado llevar por la indignación ante los sistemáticos ataques a que me ha sometido la prensa, sobre todo en estos últimos años en que nadie ha salido en mi defensa. Sin embargo, ahora [recordemos que la carta es de

1933] la guerra de aniquilación contra mis hermanos judíos me obliga a recurrir a toda la influencia que pueda tener ante la opinión pública mundial.»

Y cuando, en 1946, tras la derrota de la Alemania nazi, fue invitado a ingresar de nuevo en la Academia de Baviera, rechazó la propuesta, diciendo: «Los alemanes han exterminado a mis hermanos judíos; no quiero saber nada de los alemanes...»

En 1949, cuando le solicitaron que reanudara sus relaciones oficiales con el Instituto *Kaiser Wilhelm*, rebautizado con el nombre de Instituto Planck, justificó su negativa con estas palabras: «El crimen de Alemania es el más abominable de cuantos recuerda la historia de las naciones "civilizadas". La conducta de los intelectuales alemanes, en conjunto- no ha sido mejor que la del populacho. Incluso ahora, no se ve ninguna señal de que lamenten o deseen reparar, en la medida de lo posible, sus enormes crímenes. En estas circunstancias, siento una aversión incontenible a participar en algo relacionado con la vida pública de Alemania...»

En 1951, tras rechazar con firmeza muchas otras invitaciones, se negó incluso a ingresar en la forma pacífica de una organización prusiana. Justificaba su rechazo diciendo: «Tras el genocidio del pueblo judío protagonizado por los alemanes, es evidente que todo judío que se respete tiene que rechazar cualquier vinculación con una institución alemana...» Y se mantuvo en esta postura hasta el final de sus días.

Sin embargo, a pesar de sentirse atormentado por el pasado, y por el futuro atómico- seguía disfrutando de la vida y gozando de la paz interior que necesitaba para seguir intentando crear una teoría del campo unificado. Ya hemos descrito algunos de sus intentos. Dejando de lado otros realizados con posterioridad, nos detendremos en una teoría que expuso en un artículo publicado en 1945. Dicha teoría recibió diversos retoques y ocupó su atención el resto de su vida. Tenía mucha relación con la de 1925, la que hablaba de un grupo asimétrico que contenía dieciséis cantidades, diez de cuyas combinaciones servían para la gravitación y seis para el electromagnetismo. Para Einstein había algo de profético en sus palabras de 1925: «Creo que ahora he dado con la solución verdadera.»

No es posible explicar esta teoría final en términos asequibles. No podemos echar mano de imágenes. Tiene un profundo contenido matemático. A lo largo de los

años, solo o con sus ayudantes, Einstein fue venciendo una dificultad tras otra, para encontrar siempre otras nuevas. Varios investigadores, Infeld entre ellos, demostraron que las ecuaciones del campo conducían a leyes del movimiento claramente inexactas: las partículas cargadas de electricidad se moverían como si no tuvieran carga alguna. A pesar de esto, Einstein no perdió la fe en su teoría. Las ecuaciones del campo no habían adquirido necesariamente su forma definitiva. Además, desde hacía tiempo Einstein venía buscando una unidad más profunda: una unidad del campo y de la materia. Hasta entonces, ambas entidades habían pertenecido a especies radicalmente diferentes. En la teoría general de la relatividad, las ecuaciones del campo puro se veían adulteradas en los lugares ocupados por la materia. Como señaló Einstein, no parecía posible conservar la teoría general de la relatividad sin el concepto del campo. Y argumentaba que si se creía de verdad en la idea básica de una teoría del campo, la materia no debería figurar como un intruso sino como aliada leal del campo mismo. Podría decirse que quería sacar la materia nada menos que de las circunvoluciones del espacio-tiempo. En su nueva teoría buscaba ecuaciones de campo puras que siguieran siendo puras incluso en los lugares donde hay materia, y esperaba que ésta se manifestara entonces como una especie de protuberancia del campo. Esperaba también que, insistiendo en las soluciones de las ecuaciones de campo puras, el término técnico es *soluciones exentas de singularidades*-, aparecerían restricciones automáticas, que corresponderían a la existencia de átomos y quanta. Para la mayoría de los físicos sólo había una remota posibilidad, en el mejor de los casos, incluso en principio. En la práctica, las dificultades matemáticas eran abrumadoras. Supongamos que Einstein hubiera logrado encontrar ecuaciones de campo adecuadas. ¿Qué haría para encontrar las deseadas soluciones exentas de singularidades? Sabía que no había ningún método práctico reconocido. Sin embargo, seguía luchando, afirmando desesperadamente: «Necesito más matemáticas.»

En 1948 murió en Zurich su primera mujer, Mileva, rompiendo así otro vínculo con el pasado. La salud del propio Einstein se había deteriorado gravemente, y a finales

de año tuvo que someterse a una operación abdominal. En palabras de un íntimo colaborador, «sólo fue una intervención exploratoria, con gran alivio por nuestra parte- y "sólo" se descubrió una hipertrofia de la aorta abdominal».

Aunque pasó un período de convalecencia en Florida, Einstein seguía sin reponerse del todo. Sin embargo, en cuanto pudo, regresó a Princeton, en parte para estar con su hermana Maja. Esta había ido a visitarle en 1939, pero al estallar la guerra decidió quedarse.



Maja Winteler- Einstein. hacia 1940.

En mayo de 1946, Maja había sufrido un ataque que le provocó una parálisis progresiva. A pesar de su delicado estado de salud, vivió hasta junio de 1951. Poco después de la muerte de su hermana, Einstein escribía a uno de sus primos: «Durante estos años dedicaba todas las tardes un rato a leerle las mejores obras literarias, clásicas y actuales. A pesar de su enfermedad progresiva y de que al final casi no podía hablar, su inteligencia no sufrió merma. Ahora la echo de menos más de lo que nadie puede imaginar. Me queda el consuelo de que se han acabado sus

sufrimientos...»

Las lecturas a su hermana moribunda eran un triste eco de los alegres tiempos de la Academia Olympia, donde se leían también las grandes obras. En 1953, en una visita a París, Habicht pudo ver a Solovine. Era el 12 de marzo, dos días antes de que Einstein cumpliera setenta y cuatro años. Emocionados por sus recuerdos de los maravillosos días pasados en Berna medio siglo antes, los dos ancianos enviaron a Einstein una postal de Notre-Dame con la siguiente dirección en francés: «Al Presidente de la Academia Olympia, Albert Einstein, Princeton, Nueva Jersey, U.S.A.» Naturalmente, llegó a su destino. En el poco espacio disponible lograron enviar estos dos nostálgicos mensajes, en alemán:

«Al Muy Honorable, Eminente e Incomparable Presidente de nuestra Academia:

»En su ausencia, a pesar de disponer de un lugar reservado, se ha celebrado en el día de hoy una sesión solemne y triste de nuestra mundialmente famosa Academia. El sillón reservado, que procuramos mantener siempre caliente, *espera*, sí, *espera* y *espera* su venida. Habicht.

»Yo también, antiguo miembro de la gloriosa Academia, tengo que hacer grandes esfuerzos para contener las lágrimas cuando veo vacío el asiento que usted debería haber ocupado. Sólo me cabe enviarle mi más humilde, respetuoso y sincero saludo. M. Solovine.»

A pesar de sus problemas de salud. Einstein no había perdido su espíritu travieso. Con una solemnidad jocosa que no podía disimular su propia nostalgia, respondió el 3 de abril de 1953:

¡A la inmortal Academia Olympia!

En tu breve pero activa existencia, querida Academia, te has deleitado, con infantil alegría, en todo lo que era limpio e inteligente. Tus miembros te crearon para mofarse de otras Academias respetables. Tras largos años de cuidadosa observación he llegado a comprender lo justificado de su burla. Tus tres miembros hemos demostrado, al menos, nuestra longevidad. Aunque estemos algo decrepitos, seguimos contando, en nuestro solitario peregrinar,

*con el rayo de tu radiante y vivificante esplendor. A diferencia de nosotros,
no has envejecido ni te has convertido en una inmensa lechuga.
¡A ti nuestra fidelidad y devoción hasta tu último y erudito suspiro!
A.E., ahora sólo miembro correspondiente.*

Los años no pasaban en balde. Ya el 6 de enero de 1951 Einstein había escrito a la reina madre de Bélgica: «Aunque es algo que me gustaría mucho, es probable que no tenga ya oportunidad de volver a Bruselas. Con la extraña popularidad que he adquirido, es probable que todo lo que haga se convierta en una comedia ridícula. Esto quiere decir que tengo que quedarme cerca de la casa y no salir casi de Princeton. Ya no sigo con el violín. Al pasar los años, cada vez me resultaba más insoportable escuchar mis propias interpretaciones. Espero que a usted no le haya ocurrido algo parecido. Lo que no he abandonado es mi incansable trabajo con complicados problemas científicos. La magia fascinante de este trabajo me acompañará hasta mi último suspiro.»

El 6 de junio de 1952, año y medio más tarde, escribió a su primo: «Mi trabajo no significa ya gran cosa. Ya no obtengo demasiados resultados y tengo que conformarme con representar el papel de Estadista Anciano y de Santo Judío, sobre todo esto último.» Y menos de medio año después, a la muerte de Chaim Weizmann, Einstein recibió la petición de sucederle en el cargo de presidente del Estado de Israel. Einstein se sintió profundamente conmovido, pero declinó la oferta amablemente, diciendo que carecía de la preparación y experiencia necesarias, y añadió: «Lo siendo todavía más... porque, desde que tomé conciencia de nuestra precaria situación entre las naciones del mundo, mi relación con el pueblo judío ha pasado a ser mi vínculo humano más fuerte.»

En 1954 escribiría a la reina madre de Bélgica: «Me he convertido en un *enfant terrible* en mi nueva patria. La culpa la tiene mi incapacidad de guardar silencio y de tragarme todo lo que pasa aquí.»

Se estaba refiriendo, en parte, a la campaña del senador Joseph McCarthy, que durante cierto tiempo se dedicó a calificar a ciertas personas de subversivas, a

truncar carreras y. con sus amenazas demagógicas ante el «peligro comunista», a reducir a la inactividad a valerosos dirigentes políticos. En esta atmósfera febril, Einstein habló valientemente contra la amenaza a la libertad intelectual. Algunos americanos le atacaron amargamente por su afición a apoyar las causas poco populares. Cuando Infeld, que no había participado en la creación de la bomba, aceptó una cátedra importante en su Polonia natal, la prensa puso el grito en el cielo, diciendo que Infeld podría pasar los secretos atómicos a los comunistas; y algunas mentes retorcidas utilizaron también esto en contra de Einstein.

En 1965-1967, los rusos publicaron las obras completas de Einstein en cuatro volúmenes. Era la única publicación de tales características. Pero en los primeros momentos, los dirigentes soviéticos no habían sabido qué postura adoptar ante la teoría de la relatividad de Einstein. En 1952, un académico soviético la atacó por considerarla contraria al materialismo dialéctico, base filosófica del marxismo, y criticó a algunos científicos rusos que habían defendido la teoría de Einstein. Cuando recibió una carta en la que le informaban de lo ocurrido, Einstein contestó alegremente diciendo que la noticia le había levantado el ánimo. Sin embargo, preocupado desde siempre como estaba por la libertad de pensamiento y de expresión en Rusia, escribió luego el siguiente aforismo, que se publicó en 1953: «En el reino de los buscadores de la verdad no hay ninguna autoridad humana. Quien intenta erigirse en magistrado provoca la risa de los dioses.» Además escribió dos estrofas sarcásticas, inéditas hasta ahora.

Sabiduría del materialismo dialéctico

¿Sudar y trabajar sin descanso

para conseguir al final un grano de verdad?

¡Qué locura matarse a trabajar!

Nuestro partido establece la verdad por decreto.

¿Hay algún valiente que se atreva a dudar?

La recompensa es un buen golpe en la cabeza.

De esta manera le enseñamos. mejor que nunca.

*a vivir en perfecto acuerdo con nosotros.*¹⁰

En América, entre el miedo y la operación de la era McCarthy. un profesor que había tenido problemas con el sistema de investigación de la «Comisión parlamentaria de actividades antiamericanas» pidió ayuda a Einstein. El 16 de mayo de 1953, a pesar de su enfermedad, Einstein le escribió estas atronadoras palabras; «El problema con que se encuentran los intelectuales de este país es muy grave. Los políticos reaccionarios han conseguido que el público mire con suspicacia todos los esfuerzos intelectuales. Para ello les ponen continuamente ante los ojos el fantasma de un peligro exterior. Hasta ahora han conseguido lo que se proponían, y ahora van a pasar a suprimir la libertad de enseñanza y a quitar de sus puestos a todos los que no estén dispuestos a someterse, con lo cual los condenarían a morir de hambre.

»¿Qué debe hacer la minoría de los intelectuales para enfrentarse a este mal? Francamente, el único camino que veo es la actitud revolucionaria de no cooperación, tal como la entendió Gandhi. Cuando uno de los comités llame a un intelectual, éste debería negarse a testificar, es decir, debe estar preparado a ir a la cárcel y a sufrir la ruina económica, en resumen, a sacrificar su bienestar personal para defender la cultura de su país.

»...Esta negativa a testificar debe estar basada en la convicción de que es vergonzoso que un ciudadano irreprochable se someta a semejante inquisición y de que una institución de esta naturaleza va contra el espíritu de la Constitución.

»Si el número de personas dispuestas a tomar esta grave decisión es elevado, lograrán su objetivo. En caso contrario, los intelectuales de este país sólo se merecen la esclavitud que quieren imponerles.»

¹⁰ He aquí el texto del original alemán:

Weisheit des Dialektischen Materialismus Durch Schweiss und Mühe ohnegleichen Ein Kómchen Wahrheit zu erreichen?

Ein Narr, wer sich so kláglich schinden muss Wir schaffen's einfach durch Parteibeschluss.

Und denen, die zu zweifeln wagen Wird flugs der Schädel eingeschlagen.

Ja, so erzielt man, wie noch nie,

Der kühnen Geister Harmonie.

En aquellos días era peligroso hasta recibir una carta personal en estos términos. Pero Einstein añadió una posdata que decía: «Esta carta no debe considerarse como "confidencial".» De esta manera, pero sólo gracias a lo que era y a quien era, la convirtió en un manifiesto público que tuvo resonancia en el mundo entero.

De lo que era y de quien era tenemos ya una ligera idea. Es cierto que los triunfos de la moderna mecánica cuántica superan con mucho, en número y precisión, a los de la teoría general de la relatividad. Pero, aunque la mecánica cuántica fue producto de muchas mentes, la colaboración del propio Einstein en su desarrollo fue trascendental. Además, la teoría especial de la relatividad desempeña un papel sobresaliente en la actual investigación cuántica. Y en lo que a la monumental teoría general de la relatividad se refiere, fue, en gran parte, creación de un solo hombre, y figura por tanto entre los mayores logros científicos de todos los tiempos. No sabemos lo que nos deparará el futuro, pero la teoría einsteiniana de la relatividad no tiene nada que temer. Aunque todas las teorías son mortales, las principales, como todas las obras de arte maestras, conservan para siempre su grandeza.

En sus *Notas autobiográficas*, al hablar de esta teoría, Einstein tiene que exponer algunas dificultades del sistema newtoniano. De repente se detiene y se dirige directamente a Newton, diciendo: «Y basta ya de todo esto. Newton, perdóname. Tú encontraste el único camino posible, en tu tiempo, para un hombre dotado de increíble capacidad intelectual y creativa. Los conceptos que tú creaste siguen dominando nuestra forma de pensar, aunque ahora sabemos que debemos sustituirlos por otros más alejados de la esfera de la experiencia inmediata. Es la única forma de llegar a una comprensión más profunda de la forma en que se interrelacionan las cosas.»

¿Cómo era el hombre que hablaba así con Newton a través de los siglos? Era un hombre humilde y profundamente sencillo que conservaba la capacidad de admiración de un niño. Su sentido de lo misterioso y de lo trágico se manifiesta en estas palabras dirigidas en 1939 a la reina madre de Bélgica: «Doy gracias al destino por haber hecho de mi vida una experiencia apasionante, por haber hecho

que mi vida parezca llena de sentido.» Que *parezca* llena de sentido. Está claro que habla Einstein.



Una de las instantáneas características de Einstein, con su peculiar aspecto desgarrado y un poco bohemio.

Pero no podemos dejar que ideas más sombrías oculten la alegría pura que se expresaba en su risa atronadora, en su amor a los aparatos mecánicos ingeniosos, en su afición a escribir aleluyas y en su gusto por las travesuras. Por ejemplo, al enviar a un amigo una copia de una fotografía suya, Einstein escribió estas irreverentes líneas, no exentas, por otra parte, de cierta ternura irónica:

Ese es el aspecto que tiene ahora este vejstorio.

Tú pensarás: esta pesadilla me va a quitar la paz.

Reflexiona: lo importante está adentro.

*Y además, ¿qué importa?*¹¹

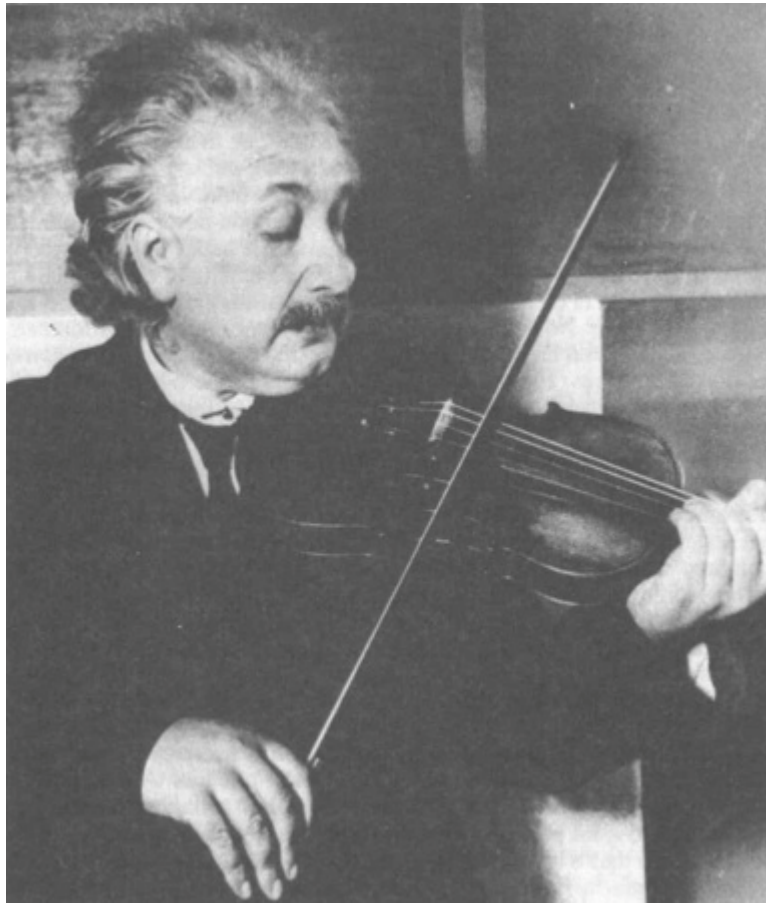
Era, por naturaleza, un rebelde que disfrutaba rompiendo los convencionalismos. Siempre que podía, se vestía pensando en la comodidad, no en la apariencia. Lo externo representaba muy poco para él. Sólo era fuente de molestias y complicaciones absurdas. Buscaba en todo la sencillez. Su pasión era la ciencia, y a continuación la música. Su hermana cuenta que cuando tocaba el violín había veces en que se detenía de repente y exclamaba: «¡Ya lo he encontrado!», refiriéndose, claro está, a un problema científico. Su violín, como su ciencia, le acompañaba a todas partes. Hiciera lo que hiciera, la ciencia siempre formaba parte de sus pensamientos.

En una ocasión, al revolver el té, comprobó que las hojas de la infusión se acumulaban en el centro y no en la circunferencia del fondo de la taza. Descubrió la explicación de aquel fenómeno y lo relacionó con otro que en apariencia nada tenía que ver: los meandros de los ríos. Paseando sobre la arena, observó atónito lo que todos hemos tenido ocasión de comprobar, sin paramos a pensar en ello: que la arena húmeda es dura, mientras que la arena seca y la que está dentro del agua es blanda. También encontró la explicación científica de este hecho.

En la música buscaba lo mismo que en la ciencia: la belleza sencilla y natural, por encima de todo. Su ideal era Mozart. Cuando alguien intentaba convencerle de que Beethoven era más grande como compositor, lo negaba rotundamente. Decía que Beethoven creaba su música, pero que la música de Mozart era tan pura que parecía estar desde siempre en el universo, esperando que alguien la descubriera. En una ocasión, pensando en los destrozos que produciría la guerra atómica, Einstein dijo que la humanidad no oiría ya más a Mozart. En un primer momento, la observación puede parecer sorprendente por su superficialidad. Sin embargo, ¿qué forma más sencilla de expresar en pocas palabras la destrucción de la civilización!

¹¹ El original alemán era como sigue:

So sieht der alte Kerl jetzt aus Du fühlst: O jeh! es ist ein Grauss Denk: auf das Innrekommt es an Und überhaupt, was liegt daran?



A Einstein le apasionaba la música de Mozart porque en ella encontraba lo que había buscado siempre en la ciencia: belleza, claridad, sencillez.

En su fama mundial veía una especie de crédito, un don del destino- que debía utilizar para bien de todos. Sabía lo mucho que pesaba su nombre. Defendió apasionadamente la causa de la libertad humana y su conciencia le impidió rechazar las peticiones que recibiría de ayudar a causas nobles.

Son muchas las anécdotas que se cuentan de él y que reflejan su aspecto humano. Straus cuenta que su gato se ponía muy triste cuando llovía y que Einstein le decía en tono de disculpa: «Sé qué es lo que te molesta, amigo mío, pero no sé cómo evitarlo.» Cuando la gata de los Straus tuvo gatitos. Einstein dijo que tenía mucho interés en verlos. Pero dejemos que sea Straus quien nos lo cuente: «Einstein vino a casa con nosotros, desviándose de lo que era su recorrido habitual. Se quedó

consternado al ver que nuestros vecinos eran todas personas que trabajaban en el Instituto. Comentó: "Vamos más aprisa. Hay aquí muchísimas personas que me han invitado a sus casas y les he tenido que decir que no. Espero que no se enteren de que he venido a ver a tus gatitos. "»

Tenía el don de hacer que quienes iban a visitarlo se encontraran a gusto desde el primer momento, no tanto por lo que decía cuanto por su actitud. No tenía necesidad, ni deseo, de dominar a nadie. Trataba a todos como iguales, y su naturalidad y humildad innata eran tales que el visitante no tenía ocasión ni de sentirse falsamente halagado, pues Einstein no era dado a las lisonjas. No había en su conducta el menor rasgo de condescendencia, tan frecuente en la afectada simpatía de otros personajes. No era como los demás hombres. Tenía sus debilidades humanas, pero había en él una grandeza que brillaba todavía más como fruto de su sencillez.

De los problemas públicos hablaba con sencillez y sin miedo, como los profetas bíblicos, pues sentía gran preocupación por los demás hombres. En una ocasión escribió: «Mi sentido apasionado de la justicia y de la responsabilidad social ha estado siempre en claro contraste con mi escasa necesidad de contacto directo con otros seres humanos y comunidades de hombres. Soy en verdad un "viajero solitario" y nunca he entregado todo mi corazón a mi país, a mi casa, a mis amigos, ni siquiera a mi familia más inmediata. Ante todos estos vínculos he conservado una sensación de distancia y una necesidad de soledad, sentimientos que van en aumento con los años.»

Esto lo escribía en 1930, y siguió siendo verdad a lo largo de toda su vida.

Sin embargo, le producía gran satisfacción no sólo progresar en su trabajo sino conseguir el reconocimiento de los científicos. A la Royal Astronomical Society de Londres, que le concedió su medalla de oro de 1925, escribió estas palabras: «El que encuentra una idea que nos permite penetrar algo más a fondo en el eterno misterio de la naturaleza ha obtenido una gran gracia. El que, además, recibe el reconocimiento, la simpatía y la ayuda de las mentes más preclaras de su tiempo, recibe una felicidad que casi supera a la capacidad humana.»

Nos dejó otras pistas para llegar a su personalidad íntima, pero sólo podemos interpretarlas a la luz de nuestras propias experiencias, no de las suyas. Por ejemplo, en una ocasión escribió: «La experiencia más bella que podemos tener es la del misterio. Es la emoción fundamental que está en la base del verdadero arte y de la verdadera ciencia.» Aun en el caso de que hayamos conocido personalmente el éxtasis de la creación artística o de la mística religiosa, sólo podemos entender de forma indirecta lo que sintió el propio Einstein. Por detrás de sus palabras hay una experiencia trascendental que es únicamente suya. En el fondo, era un artista que utilizaba como medio de expresión la ciencia. Y era un apasionado. Muchas veces, cuando le venía una idea, trabajaba en ella hasta el límite de sus fuerzas. Si la idea se mostraba recalcitrante, volvía sobre ella una y otra vez, año tras año, con increíble persistencia. Recriminaba a quienes pensaban que aquel trabajo intelectual era pura alegría incontaminada: «Los que han conocido esto, no se han lanzado como locos en su busca.»

Sentía alegría, y muy intensa, pero trabajaba porque no podía hacer otra cosa. Se veía dominado inexorablemente. En 1950 respondió a una señora que le había enviado un poema con ocasión de su setenta y un cumpleaños: «Me invade una sensación de malestar siempre que se acerca mi inevitable cumpleaños. La esfinge se pasa el año mirándome fijamente y recordándome dolorosamente la existencia de lo Incomprendido, borrando los aspectos personales de mi existencia. Entonces llega ese día nefasto en que el cariño que me demuestran mis amigos me reduce a un estado de desesperación e impotencia. La esfinge no me deja libre ni un momento, y no puedo evitar mis remordimientos de conciencia por ser incapaz de hacer justicia a todo este cariño, pues no tengo descanso ni libertad interior.»

En otra ocasión utilizó una metáfora distinta. En 1945, al agradecer a Hermann Broch que le hubiera enviado una copia de su libro *La muerte de Virgilio*, Einstein se expresaba en términos más relacionados con Fausto: «Estoy fascinado por su *Virgilio*, y al mismo tiempo me resisto a él con todas mis fuerzas. El libro me demuestra claramente lo que perdí cuando me vendí en cuerpo y alma a la Ciencia, la huida del YO y el NOSOTROS hacia el ELLO.»

Intentó describir su forma de pensar, diciendo que en su mayor parte consistía en un juego «más bien vago» y alógico con signos «visuales» y «musculares», después del cual había que «buscar laboriosamente» los términos explicativos.

Pero, ¿qué sacamos de esto? ¿No somos como esa persona que sin el menor oído musical intenta comprender una sinfonía? Por ejemplo, el 19 de marzo de 1949, se celebró en Princeton un simposio íntimo para celebrar el setenta cumpleaños de Einstein. En presencia de éste, destacados científicos de los distintos campos expusieron detalladamente sus logros. Pero el homenaje más sincero de cuantos recibió se produjo de forma espontánea. Entre los oradores estaba el premio Nobel I. I. Rabi. Mientras leía el texto preparado de su intervención, pareció comprender de repente la imposibilidad de expresar la magia especial del genio de Einstein. Con un gesto de impotencia, se detuvo en medio de una frase, señaló su reloj y en tono donde se mezclaban el respeto y la sorpresa dijo bruscamente: «¡Y todo vino de aquí!»

Oigamos ahora al propio Einstein. A Solovine, que le había escrito felicitándole por su setenta cumpleaños, le respondió el 28 de marzo de 1949 diciendo, entre otras cosas: «Te imaginas que al volver la vista sobre lo que he hecho en mi vida lo hago con calma y satisfacción. Pero, vistas de cerca, las cosas son muy distintas. No hay un solo concepto del que tenga la seguridad de que se mantendrá firme, y no estoy seguro de ir, en general, por el buen camino.»

No había en esto falsa modestia. Einstein sabía que su obra era importante. Pero también conocía la fragilidad de todas las teorías. Es más, ¿quién podría saberlo mejor que él, que había derribado los cimientos del poderoso edificio conceptual de Newton? Nos vienen a la mente las palabras del propio Newton poco antes de morir: «No sé qué imagen tendré ante los ojos del mundo; pero ante mí mismo parece que no he sido más que un muchacho que jugaba en la playa y se divertía encontrando de vez en cuando un guijarro más liso o una concha más bonita que las demás, mientras el gran océano de la verdad se abría, desconocido, ante mí.»



La precaria salud de Einstein se refleja en su cuidado al abrigarse

A finales de 1954 Einstein estuvo débil y enfermo. Sabía que no le quedaban muchos años de vida. Más de una vez habló de la muerte como de una liberación, como por ejemplo en una carta del 5 de febrero de 1955: «He llegado a ver en la muerte una antigua deuda, que por fin voy a pagar.» Sin embargo, antes de morir tendría que experimentar un nuevo sufrimiento. En marzo de 1955 murió su amigo Michele Besso, a quien había dado las gracias al final de su artículo de 1905 sobre la relatividad. El 21 de marzo de 1955 escribía al hijo y a la hermana de Besso. «La base de nuestra amistad radica en nuestros años de estudiantes en Zurich, donde nos veíamos con frecuencia en las veladas musicales... Más tarde, nos unió la oficina de patentes. Las conversaciones que manteníamos al volver a casa fueron inolvidables... Y ahora me ha precedido brevemente al decir adiós a este extraño mundo. Esto no significa nada. Para los físicos creyentes, la distinción entre

pasado, presente y futuro no es más que una ilusión, a pesar de su persistencia.»

Besso se le adelantó por muy poco. Sólo unas semanas después se despediría para siempre el propio Einstein. Pero, mientras tanto, tenía cosas importantes que hacer. Alarmado por la carrera de armamentos, Bertrand Russell estaba preparando una declaración que, esperaba él, sería firmada por un grupo selecto de distinguidos intelectuales de todo el mundo. Era una advertencia del peligro que amenazaba a la humanidad. Se dirigió a Einstein solicitando su ayuda, que éste le prestó encantado. El 2 de marzo de 1955 Einstein escribió a Bohr para hablarle del proyecto en una carta que empezaba con estas reveladoras palabras: «¡No pongas esa cara! Esta carta no tiene nada que ver con nuestra vieja controversia; voy a hablar de un tema en el que estamos completamente de acuerdo.» Al final de la carta venían estas palabras también muy significativas: «En América, las cosas se complican por la probabilidad de que los científicos de más renombre, que ocupan puestos oficiales de gran influencia, no estén demasiado dispuestos a comprometerse en tal aventura. Mi propia participación puede tener cierta influencia favorable en el extranjero, pero no aquí, donde se me tiene por la oveja negra (y no sólo en cuestiones científicas).»

La larga declaración Russell-Einstein, publicada tras la muerte del último, preguntaba abiertamente: «¿Vamos a acabar con la raza humana; o, por el contrario, la humanidad va a renunciar a la guerra?» El manifiesto llevaba once firmas. La de Bohr no figuraba. El y otros, quizá con más realismo que Russell y Einstein, lo consideraron como un gesto inútil. Sin embargo, en los días que le quedaban de vida, Einstein no pudo permanecer en silencio. Y, como consecuencia del manifiesto, se organizaron varias reuniones y conferencias internacionales que influyeron en cierta forma en los intentos, totalmente insuficientes- de controlar la proliferación de las armas atómicas.

La firma del manifiesto fue el último acto público realizado por Einstein. Cuando sólo quedaba un mes para el séptimo aniversario de la fundación del Estado de Israel, le habían solicitado que preparara una declaración científica y cultural que se emitiría en Tel Aviv en el marco de los actos oficiales. Einstein prefirió dirigirse a

la opinión pública mundial y exponer el problema de las relaciones entre árabes e israelíes en el contexto más amplio de la paz mundial. El 2 de abril de 1955, y de nuevo el 13 de abril, a pesar de no encontrarse bien, habló con representantes de Israel. El mismo día 13, le asaltaron fuertes dolores abdominales y otros síntomas alarmantes. El viernes 15 de abril, su estado era tan grave que fue trasladado al hospital de Princeton. Sabía que estaba a punto de morir. A un colaborador íntimo le dijo en tono de reproche amistoso: «No estés tan triste. Todos tenemos que morir.» Preguntó si la agonía iba a ser muy dolorosa, pero los doctores no pudieron hacer un pronóstico concreto. Gracias al tratamiento que se le aplicó en el hospital, remitieron los dolores. El sábado pidió sus gafas y el domingo dijo que le llevaran sus cálculos y las notas que estaba preparando para la declaración sobre Israel. Su hija Margot, que también había ingresado en el hospital, fue a visitarlo, y al principio no le reconoció, tan desfigurado estaba por el dolor y la palidez. El hijo mayor había venido desde California para acompañarle en aquella hora difícil. También estuvo con él en sus últimos días y horas su viejo amigo y fiel consejero, el comunista Otto Nathan.

Dos años antes, Einstein había escrito a la reina madre de Bélgica: «Es curioso, pero cuando nos vamos haciendo viejos vamos perdiendo la íntima identificación con el aquí y el ahora; nos sentimos trasladados al infinito, más o menos solitarios, sin esperanza ni miedo, como meros observadores.» Nueve meses más tarde, con palabras que recuerdan las convicciones de uno de los primeros pensadores que hablaron del átomo, el poeta romano Lucrecio, Einstein había escrito: «Es muy frecuente que los hombres piensen con terror en la muerte. Es uno de los medios de que se sirve la naturaleza para conservar la vida de la especie. Desde un punto de vista racional, este terror no tiene ninguna justificación, pues quien haya muerto o no haya nacido todavía no puede padecer ningún accidente. En pocas palabras, es un terror estúpido pero inevitable.»

Cuando le llegó la hora, hizo frente a la muerte sin temor y hasta con buen humor. Se mantuvo sereno, con el espíritu tranquilo, dispuesto para la última gran aventura. Siguió hablando con calma y con su habitual humor de asuntos

personales y científicos y, con cierta tristeza, de América y de las escasas esperanzas de conservar la paz en el mundo. Así pasó sus últimas horas de vigilia. La tarde del domingo se quedó dormido, y 18 de abril de 1955, poco más de una hora después de medianoche, su corazón dejó de latir.



La última foto de Einstein, tomada el día de su 76 cumpleaños.

Dos siglos antes, cuando murió Newton, su cuerpo quedó expuesto al público, mientras el mundo lloraba su muerte. Sus cenizas fueron depositadas solemnemente en la abadía de Westminster, en el corazón de Londres, junto a los restos de los más distinguidos hijos de Inglaterra.

Cuando murió Einstein, hubo gran consternación en todo el mundo. Pero él había indicado que no quería ni funeral, ni tumba, ni monumento. En una ceremonia privada, en presencia de sus más íntimos, fue incinerado cerca de Trenton, Nueva

Jersey. Por propio deseo, se mantuvo en secreto el destino de sus cenizas, para evitar que ningún lugar del mundo, por humilde que fuera, pudiera convertirse en un relicario. Pero el río del Tiempo siguió fluyendo y llevó sus cenizas desde donde se encontraran hasta el gran océano en cuya orilla también había jugado Newton.

Agradecimientos

Queremos manifestar nuestro agradecimiento al Dr. Otto Nathan, administrador del patrimonio de Albert Einstein. por habernos autorizado a citar algunos pasajes de *Einstein on Peace*. obra publicada por Otto Nathan y Heinz Norden (Schocken Books, 1968) y a citar o reproducir otros materiales pertenecientes a dicho patrimonio, incluyendo algunos documentos, todavía no publicados, de los Archivos Einstein, así como por su generosa y constante ayuda. También queremos dar las gracias al profesor Paul Schilpp, que nos ha permitido citar textos de *Albert Einstein, Philosopher Scientist*, publicado por Paul Schilpp (The Library of Living Philosophers, 1949); a Philippe Halsman, H. Landshoff y otros, por la utilización de fotografías, según se señala debidamente en su lugar; a Alvin Jaeggli, director del departamento de manuscritos y libros raros de la Biblioteca del Instituto Federal Suizo de Zurich. que nos ha ayudado a obtener documentos y datos; al Dr. Pierre Speziali, profesor de Matemáticas en el Collège Voltaire de Ginebra y a Lydia Besso-Bronnimann. viuda de Vero Besso, hijo de Michele Besso, por habernos prestado no sólo cuadros de Michele Besso sino también el manuscrito biográfico inédito de Maja Winteler-Einstein; a Freeman Dyson, profesor de Física Teórica en el Instituto de Estudios Superiores, a Martin J. Klein, profesor de Historia de la Física en la Universidad de Yale, y a Otto Nathan. una vez más, que han leído el manuscrito íntegro o en parte y han formulado valiosas sugerencias; y a Beatrice Rosenfeld, sin cuya creatividad editorial este libro no habría sido posible.

Cronología

- 1879 14 de marzo: nace Albert Einstein en Ulm (Alemania), primer hijo del matrimonio judío formado por Hermann Einstein (1847-1902) y Pauline Koch (1858-1920).
- 1880 La familia Einstein se traslada a Múnich.
- 1881 18 de noviembre: nace su hermana Maja.
- 1889 Ingresa en el Instituto Luitpold de Múnich.
- 1892 Estudia cálculo diferencial e integral y geometría euclidiana. Lee la obra de Aaron Bernstein *Naturwissenschaftlichen Volksbüchem.* y *Kraft und Stoff (Fuerza y materia)*, de Ludwig Büchner.
- 1894 Einstein abandona el instituto sin hacer el examen final. Renuncia a la nacionalidad alemana y viaja a Milán para ver a sus padres, donde asiste durante un corto espacio de tiempo al Colegio Suizo.
- 1895 Se presenta al examen de ingreso en la Escuela Técnica Federal de Zurich, pero sin éxito. Octubre: asiste a la escuela del cantón de Argovia.
- 1896 Termina su enseñanza media en la escuela de Argovia. Octubre: se matricula en la Escuela Politécnica Federal para estudiar física y matemáticas. Hace amistad con sus compañeros de estudios Marcel Grossmann (1878- 1936). Louis Kollros (n. 1878), Jakob Ehrat (n. 1876) y Mileva Maric (1875-1948). su futura esposa. Se produce su primer encuentro con los profesores Hermann Minkowski y Adolf Hurwitz (que luego sería amigo suyo), y con el ayudante Dr. Joseph Sauter (futuro compañero suyo de trabajo en la oficina de patentes de Berna).
- 1898 Pasa el examen intermedio en la Escuela Politécnica Federal.
- 1900 Comienzos del verano: finaliza sus estudios con el examen de licenciatura. Septiembre: intenta conseguir, sin éxito, la plaza de ayudante en el Instituto Politécnico Federal de Zurich.
- 1901 21 de febrero: Einstein adquiere la ciudadanía suiza. 21 de mayo-14 de agosto: profesor ayudante en la Escuela Técnica de Winterthur; durante un corto período trabaja como profesor ayudante del Dr. Jakob Nüsch en un internado de niños de Schaffhausen. Aparece su primera publicación personal. *Folgerungen aus den Capilantatserschemun gen (Consecuencias de los fenómenos de capilaridad)*.
- 1902 Muere su padre en Milán. 23 de junio: ingresa como funcionario en la Oficina Federal de Patentes de la Propiedad Intelectual de Berna. Traba amistad con Maurice Solovine y Conrad Habicht. la «Academia Olympia». Trabajos sobre mecánica estática clásica (hasta 1905).
- 1903 6 de enero, se casa con Mileva Maric (licenciada por la Escuela Cantonal de Zurich).
- 1904 14 de mayo: nace su primer hijo, Hans-Albert (desde 1937 reside en Estados Unidos, donde es profesor de Hidráulica en la Universidad de Berkeley) Discute la idea de la teoría restringida de la relatividad con su colega de trabajo Michele Angelo Besso y con Joseph Sauter.
- 1905 Presenta su tesis doctoral. *Eine neue Bestimmung der Molekuldimensionen (Una nueva determinación de las dimensiones moleculares)*. Es un año muy fructífero en el terreno científico: descubre el efecto fotoeléctrico (por lo que recibiría, en 1921. el premio Nobel), trabaja sobre el movimiento browniano y lleva a cabo la primera aproximación a la teoría restringida de la relatividad: *Elektrodynamik bewegter Körper (Movimiento electrodinámico de los cuerpos)*.

- 1907 Recibe la visita del matemático Jakob Johann Laub de Würzburg; de su amistad con Laub surgen tres trabajos en común. Conoce a Max von Laue, que en 1911 escribiría dos obras sobre la teoría de la relatividad Primer intento para acceder a una cátedra en la Universidad de Berna. La solicitud es rechazada.
Malinkowski publica «Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge» («Ecuaciones fundamentales de los fenómenos electromagnéticos») en *Göttinger Nachrichten*. y da la conferencia titulada «Espacio y Tiempo» en el LXXX Congreso de la Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte.
- 1908 Aparece el trabajo de Hermann Minkowski *Mathematische Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie (Fundamentos matemáticos de la teoría restringida de la relatividad)*.
Einstein recibe la visita del profesor Rudolf Ladenburg y una invitación para asistir en otoño de 1909 al congreso de físicos de Salzburgo.
Febrero: catedrático de la Universidad de Berna; en el semestre de invierno de 1908-1909 da su primer curso sobre teoría de la radiación (sólo tres oyentes).
- 1909 Se celebra el congreso de físicos en Salzburgo, donde Einstein lee su ponencia «Evolución de las ideas sobre la esencia y constitución de la radiación». Allí hace amistad con los físicos más relevantes (Planck, Rubens, Wien, Pauli, Sommerfeld, Born).
Semestre de verano: no dicta su curso debido al escaso número de oyentes. Disertación ante la Asociación de Físicos de Zurich. Es elegido profesor supernumerario de la Universidad de esta ciudad
Julio: es nombrado doctor *honoris causa* por la Universidad de Ginebra (a lo largo de su vida. Einstein obtendrá veinticinco nombramientos como doctor *honoris causa*).
15 de octubre: Einstein abandona la oficina de patentes para ocupar una cátedra en Zurich. a donde se traslada
1 de diciembre: lección inaugural en la Universidad de Zurich: «Sobre el papel de la teoría atómica en la física actual». Traba amistad con su colega socialdemócrata. el Dr. Friedrich Adler.
- 1910 Reanuda su amistad con sus colegas Adolf Hurwitz (antiguo profesor suyo en la Escuela Politécnica de Zurich). Marcel Grossmann (antiguo compañero de estudios). Alfred Stem (historiador), Aurel Stodola (inventor de la turbina de vapor y de gas). Heinrich Zangger y Emil Zürcher (penalista).
28 de julio: nace su segundo hijo, Eduard.
- 1912 15 de abril: le contrata la Universidad alemana de Praga como profesor numerario: su ayudante es el Dr. Ludwig Hopf. Traba amistad con Georg Pick (discípulo de Mach), Hugo Bergmann (filósofo del sionismo) y Max Brod.
Primera idea decisiva de la teoría general de la relatividad, *Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes (Influencia de la fuerza de gravitación en la propagación de la luz)*. Acude al Congreso Solvay en Bruselas, donde estrecha su amistad con Marie Curie, Poincaré, Langevin. Planck. Nernst. Rutherford y Lorentz.
- 1912 Febrero: La Escuela Politécnica Federal de Múnich contrata a Einstein: Planck, Madame Curie y Poincaré le facilitan informes.
Octubre: toma posesión como catedrático de física teórica.
- 1913 Publica *Entwurf einer Verallgemeinerten Relativitätstheorie und eine Theorie der Gravitation (Idea general de la teoría general de la relatividad y la teoría de la gravitación)*, en colaboración con Marcel Grossmann. Congreso de físicos y médicos en Viena. Einstein es elegido miembro numerario de la Academia de Ciencias de Prusia en Berlín. Se le nombra también director del Instituto de Investigación Física *Kaiser Wilhelm*.
- 1914 Primavera: Einstein abandona Zurich; Mileva Einstein se queda en esta ciudad con sus dos hijos. I Guerra Mundial.

- 1915 Tres trabajos importantes: *Zur allgemeinen Relativitätstheorie (Sobre la teoría general de la relatividad)*, *Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie (Explicación del movimiento perihélico de Mercurio a partir de la teoría general de la relatividad)* y *Feldgleichungen der Gravitation (Ecuaciones del campo gravitatorio)*.
- 1916 Termina la teoría general de la relatividad; primer proyecto para generalizar la teoría de la gravitación.
- 1917 Publica *Über die Spezielle und die Allgemeine Relativitätstheorie (Sobre la teoría restringida y general de la relatividad)*. primer libro sobre el tema que resulta fácilmente comprensible.
- 1918 Da clases como profesor invitado en la Universidad de Zurich (hasta 1920). Hermann Weyl escribe *Raum, Zeit und Materie (Espacio, tiempo y materia)*. Fin de la guerra.
- 1919 29 de marzo: la Royal Society oí Londres organiza una expedición a Sobral (Brasil) y a la isla Príncipe (Golfo de Guinea), dirigida por Sir Arthur Stanley Eddington. La expedición confirma, en un eclipse de Sol. la certeza de la teoría de la gravitación (desviación de la luz en un campo gravitatorio). Einstein da una conferencia en la Universidad de Leiden: «Ather und Relativitätstheorie» («Eter y teoría de la relatividad»). Se divorcia de Mileva y contrae matrimonio con su prima Elsa Einstein.
- 1920 Su teoría de la relatividad crea un auténtico tumulto. Su nombre aparece en la prensa. Muere su madre. Congreso de los físicos y médicos alemanes en Nauheim: el premio Nobel Philipp Lenard ataca la teoría de Einstein («Anti-relatividad, S.L.»). Le hacen catedrático supernumerario en la Universidad de Leiden. Conoce a Niels Bohr, *Discussion with Einstein on Epistemológica! Problems in Atomic Physics (Controversia con Einstein sobre problemas epistemológicos en física atómica)*. Max Bom publica *Die Relativitätstheorie Einsteins (La teoría de la relatividad de Einstein)*.
- 1921 Conferencias en el Collège de France, en París. Participa en el congreso de Halle. Viaja a Estados Unidos con Chaim Weizmann para recaudar dinero con destino a la causa del nacionalismo judío Mayo: cuatro conferencias sobre la teoría de la relatividad pronunciadas en la Universidad de Princeton. Viaja a Palestina. Noviembre: Einstein obtiene el premio Nobel por su descubrimiento del efecto fotoeléctrico (expuesto en 1905).
- 1922 Conferencia en Hamburgo sobre la teoría de la relatividad; Einstein es huésped de Ernst Cassirer. Es elegido junto con Madame Curie para la «Comisión de colaboración intelectual (Sociedad de Naciones)». Reuniones en Ginebra y París. Corre el rumor de que se prepara un atentado contra Einstein.
- 1923 Jubilación de H. A. Lorentz. Einstein es nombrado catedrático auxiliar en Leiden. Huésped de la familia real holandesa. Conferencia ante el congreso de físicos escandinavos en Goteburgo. Viaja por Inglaterra. España. Checoslovaquia, Japón y Palestina.
- 1925 Acto solemne en la Universidad de Leiden en el que Einstein es nombrado doctor *honoris causa*. Manifiesto contra el servicio militar, firmado, entre otros, por Gandhi.
- 1927 Se somete a una cura en Davos y Zuoz a causa de su insuficiencia cardíaca. Participa en el Congreso Solvay.
- 1929 El cincuenta cumpleaños de Einstein se convierte en un acontecimiento mundial. Regalo frustrado de una casa en Caputh por parte de la ciudad de Berlín. Crac de la Bolsa de Nueva York. Proyecto del Instituto de Estudios Superiores, a cargo de Abraham Flexner.
- 1930 Doctor *honoris causa* de la Escuela Politécnica de Zurich. Congreso Solvay. En adelante. Einstein dedicará los meses de invierno a dar clases en Princeton como profesor invitado.

- 1931 Miscelánea: Mein *Weltbild* (*Mi visión del mundo*). Estudios cosmológicos.
- 1932 Rexner le ofrece la posibilidad de hacerse miembro del Instituto de Estudios Superiores, oferta que Einstein acepta. Primera verificación de la fórmula $E=mc^2$ (propuesta en 1907). Se vislumbra la posibilidad de la bomba atómica.
- 1933 Hitler. canciller de Alemania. Los nazis privan a Einstein de sus derechos de hijo predilecto alemán, confiscan sus bienes y ponen precio a su cabeza. Marzo: renuncia a la Academia Prusiana, que a su vez intenta expulsarle. Julio: «Conferencia Herbert Spencer» en Oxford
Otoño: estancia en el balneario belga de Le Coq-sur-Mer, cerca de Ostende; mantiene correspondencia con la Academia de Berlín.
Profesor del Institute for Advanced Studies en Princeton.
Renuncia momentáneamente a su pacifismo ante la amenaza del rearme alemán.
- 1934 Einstein ofrece un concierto de violín en Nueva York a beneficio de los científicos huidos de Alemania. Se recaudaron 6.500 dólares.
El físico italiano Enrico Fermi bombardea núcleos atómicos con neutrones.
- 1935 Compra una casa de campo en Oíd Lyme (Connecticut) y practica el deporte de la vela en el lago Camegie.
- 1936 Trabaja, hasta 1939- en colaboración con Leopold Infeld: *The Evolution of Physics* (*La evolución de la física*), *Gravitational Equations and the Problems of Motion* (*Ecuaciones gravitacionales y los problemas del movimiento*). Muerte de su segunda esposa, Elsa Einstein. y de su amigo Marcel Grossmann.
- 1938 Los nazis se apoderan de Austria. Leyes antisemitas en Italia; t-ermi emigra a Estados Unidos.
- 1939 Fermi alerta a la marina de Estados Unidos sobre el peligro de que los alemanes obtengan la bomba atómica.
2 de agosto: carta de Einstein a F. D. Roosevelt sobre la bomba atómica.
- 1941 1 de octubre: Einstein obtiene la nacionalidad estadounidense y presta juramento en Trenton (Nueva Jersey). Ofrece un concierto de violín en Princeton para ayuda a la infancia.
- 1942 Fermi dirige a un equipo de científicos que realiza en Chicago la primera reacción nuclear autónoma en cadena.
- 1943 Bohr participa, bajo la dirección de Oppenheimer, en la consecución de la bomba atómica.
- 1944 Se subasta una copia manuscrita del trabajo realizado por Einstein en 1905 *Movimiento electrodinámico de los cuerpos*; la subasta tiene lugar en Kansas City y alcanza la cifra de 6 millones de dólares. El importe se destina a la financiación de la guerra.
Bohr advierte a Roosevelt y a Churchill de los peligros que para la humanidad encierra la bomba atómica; Churchill le cree un espía al servicio de los soviéticos.
- 1945 6 de agosto: bomba atómica sobre Hiroshima 9 de agosto: bomba atómica sobre Nagasaki.
Aparece la segunda edición de la obra de Einstein *The Meaning of Relativity* (*El significado de la relatividad*), con un apéndice donde se resumen sus opiniones cosmológicas.
- 1946 Einstein toma posesión de la presidencia del Emergency Committee of Atomic Scientists. organización cuyo objetivo era impedir una guerra nuclear Publica «Grundlagen der Verallgemeinerung der Gravitationstheorie» («Fundamentos de la teoría de la gravitación general»), en *Annals of Mathematics*, 1946.
- 1948 Sufre una intervención quirúrgica en Nueva York. Muerte de su primera esposa. Mileva Maric.
- 1949 Aparece *Albert Einstein. Philosopher and Scientist*.
- 1950 Se publica *Out My Later Years* (*Mis últimos años*).

- 1951 Muere en Princeton su hermana Maja.
- 1952 Einstein recibe el ofrecimiento de convertirse en presidente de Israel; en noviembre responde negativamente a la oferta.
Expedición a Khartum (Sudán) que confirma de nuevo la desviación de la luz.
- 1953 Formulación definitiva de la teoría general de la relatividad (en *Annals of Mathematics*).
Fiesta de cumpleaños pública para financiar el Albert Einstein College of Medicine. Se recaudan tres millones y medio de dólares.
- 1954 Einstein cae gravemente enfermo: insuficiencia hepática, anemia hemolítica, astenia.
- 1955 18 de abril: muere Albert Einstein.

Testimonios

Max Born

El gran mérito de Einstein es... haber relativizado y objetivizado los conceptos de espacio y de tiempo. Su teoría corona hoy la labor de conseguir este edificio llamado visión científica del mundo.

(Prólogo a *La teoría de la relatividad de Einstein*. 1921)

J. Kremer

Dudo que en la historia de la ciencia se haya dado un caso similar a éste de sugestión colectiva y falsas verdades, al menos no de un modo tan generalizado. Resulta inconcebible que matemáticos, físicos y filósofos, personas muy capaces todos ellos, hayan llegado al extremo de creer, aunque sea por un momento, semejante patraña.

(*Cien autores contra Einstein*. Leipzig. 1931)

Max Planck

La importancia de la teoría de la relatividad abarca todos los fenómenos del microcosmos y del macrocosmos, desde los átomos que irradian ondas y corpúsculos, hasta los movimientos de los cuerpos celestes situados a millones de años luz.

(*La concepción del mundo en la nueva física*. Leipzig. 1947)

Gastón Bachelard

Salvando las distancias, las consecuencias filosóficas de la revolución de Einstein podrían compararse con las que se derivaron de la revolución copernicana. siempre que los filósofos se muestren dispuestos a extraer todos los frutos de la teoría de la relatividad. Los presupuestos de Einstein implican una revolución sistematizada de todos los principios básicos... Se opera en el terreno científico lo que Nietzsche denominó *transmutación de los valores*.

(*Albert Einstein. filósofo y físico*. Stuttgart. 1951)

Maurice Solovine

Le amaba y admiraba por su extraordinaria bondad, por su originalidad intelectual y por su inquebrantable valentía moral. Llevaba la rectitud arraigada en lo más hondo de su espíritu. Al contrario que la mayoría de los llamados intelectuales, cuyo sentido moral está a menudo atrofiado. Einstein clamó una y otra vez contra cualquier forma de injusticia y de violencia. Seguirá viviendo en el recuerdo de las generaciones venideras por su genialidad y su extraordinaria envergadura como hombre de ciencia. y por su calidad humana que albergaba los más elevados ideales morales.

(Mi amistad con Albert Einstein. París, 1956)

Kurt Blumenfeld

Aceptaba las leyes objetivas de la naturaleza, y así las vio y reconoció: pero todo su ser se rebelaba contra la arbitrariedad de las leyes humanas.

(Tomado de *Tiempos claros-tiempos oscuros. A la memoria de Albert Einstein.* 1956)

Pau Casals

Con la muerte de Einstein es como si el mundo hubiera perdido peso y una parte de su sustancia.

(En el libro de Friedrich Herneck *Albert Einstein. Vida de un luchador por la verdad, la humanidad y la paz.* Berlín, 1963)

Thomas Mann

Sin duda, la desolación por el curso desesperanzador y por la amenaza fatídica que se ciernen sobre el mundo (propiciadas, aunque sin que él tuviera la culpa, por su propia ciencia) aceleró el agravamiento de su enfermedad y acortó su vida.

Fue un hombre que, incluso en el instante supremo, se habría rebelado con todas sus fuerzas contra el destino. En este día, el dolor y la consternación que patentizan

las gentes de cualquier país, raza o religión ante el anuncio de su muerte, manifiesta la esperanza irracional de que, si se hubiera prolongado su existencia, él hubiera sido capaz de frenar la evolución hacia la catástrofe definitiva. Con Albert Einstein muere un defensor de la humanidad, y por ello su memoria será eterna.

(Con ocasión de la muerte de Albert Einstein. En *Autobiografía*. Frankfurt, 1968)