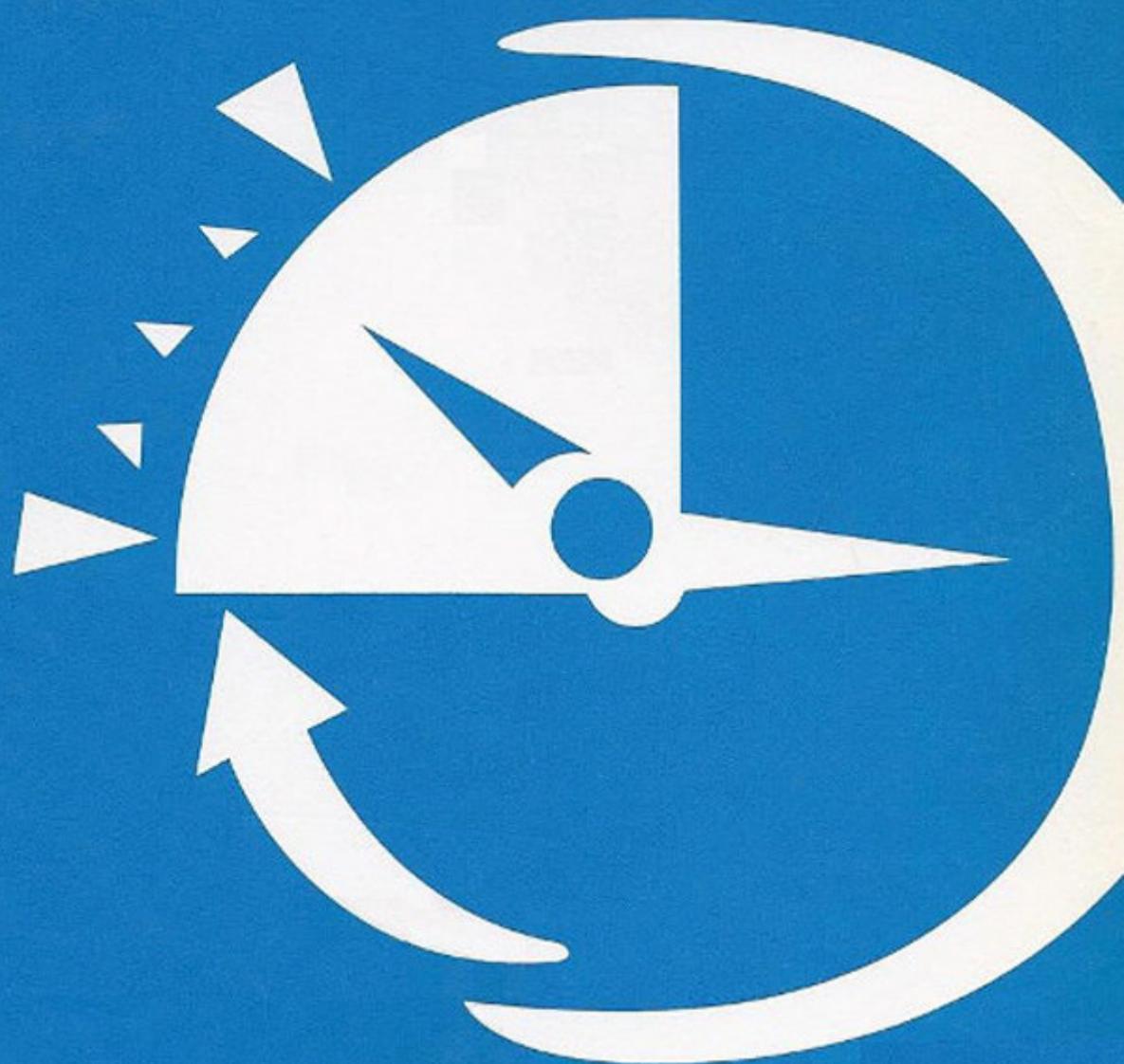


Einstein y la relatividad



Paul Strathern

EINSTEIN Y LA RELATIVIDAD

Einstein cambió el universo pero murió como un fracasado. Su teoría de la relatividad le sitúa como la mente científica más prodigiosa desde Newton. La relatividad supuso el fin de nuestra concepción del espacio y del tiempo y dejó entrever un mundo inconcebible anteriormente. Su célebre fórmula

$$E = mc^2$$

demostró que la materia se podía transformar en energía y de este modo, anunció la era nuclear, además de realizar una importante aportación a la teoría cuántica. Sin embargo, en última instancia, Einstein no fue capaz de aceptar las implicaciones de sus descubrimientos, en especial en lo referente a la teoría cuántica. En consecuencia, desperdició más de un cuarto de siglo buscando una teoría global que su propio trabajo había hecho imposible.

Un año después del nacimiento de Albert, el negocio de material eléctrico de su padre fracasó y la familia se trasladó a los alrededores de Munich para vivir en la casa de Jakob, el hermano de Hermann, donde los dos hermanos pusieron en marcha un pequeño taller de electroquímica.

Lo que distinguía al Albert niño era su lentitud y su carácter algo soñador. Había sido víctima de una ruptura familiar («la pérdida del paraíso», como lo llaman los psicólogos) y su padre era un fracasado. Estas circunstancias se repiten con sorprendente frecuencia en el entorno familiar de los genios (Herr Johann van Beethoven, el cantante borracho; Mr. John Shakespeare, el guantero poco de fiar, etc.) aunque, por lo demás, la primera infancia de Albert no tiene nada de excepcional.

El padre de Albert no era religioso y se consideraba a sí mismo una persona muy adaptada. En consecuencia, envió al joven Albert a una escuela católica, donde se encontró con que era el único judío en clase. Como casi todo lo demás en Alemania, las escuelas se regían por normas militares. Los profesores de los más pequeños se enorgullecían de actuar como sargentos pedantes y mandones. El joven Albert se

aburría, aprendió poco y desarrolló un profundo rechazo hacia la autoridad que no le abandonaría en toda su vida. En casa, su madre le puso a estudiar violín; él disfrutaba con ello y aprendió a tocar bien: otra habilidad que no le abandonaría en su vida. La preocupación principal del padre de Albert era mantener a flote el negocio familiar en una época de recesión económica, pero realizó algún intento esporádico para que su hijo se interesara en algún asunto académico. Un día le mostró una brújula a su hijo y éste le preguntó por qué la aguja siempre apuntaba en la misma dirección. Hermann le explicó que se debía al magnetismo, pero Albert quería saber cómo se las apañaba el magnetismo para atravesar el espacio: a esta pregunta Hermann no tenía respuesta.

Esa noche, Albert permaneció despierto sopesando cómo una fuerza invisible podía atravesar el espacio.

Al mismo tiempo, «Onkel Jacob» introdujo al chico en el álgebra. «Es una ciencia divertida», le explicó. «Cuando no podemos atrapar al animal que tratamos de cazar, le llamamos x temporalmente y continuamos la caza hasta que lo cazamos.» Bertl (abreviatura de «pequeño Bertie», su apodo familiar) enseguida se aficionó.

En 1891, cuando Einstein tenía 12 años, otro profesor aficionado apareció en escena. En aquellos días, entre las familias judías centroeuropeas, los jueves se acostumbraba a invitar a cenar a un miembro pobre de la comunidad. El hogar de los Einstein recibía a Max Talmey, un estudiante de medicina. Max empezó a prestarle libros de divulgación científica al joven Bertl, cuyo cerebro, que por otra parte era muy vago, devoró a toda velocidad. Una vez más, Einstein desarrolló una cualidad que no le abandonaría en toda su vida. Era una persona muy autodidacta y prestaba poca o ninguna atención a lo que decían sus profesores. Prefería ir a lo suyo y hacer las cosas a su manera. El resultado fue una profundidad de conocimiento excepcional, acompañada de una frecuente dificultad con los exámenes más elementales.

Max Talmey pronto empezó a traerle libros sobre geometría plana y, al instante, el chico estaba aprendiendo cálculo. Cada semana, Max comprobaba los progresos que realizaba Albert, hasta que finalmente tuvo que admitir que «ya no podía seguirle». Max le animó en vano a que leyera libros de medicina y de biología, pero a Albert no le interesaban. No suponían suficiente reto intelectual: aparentemente sólo le

interesaba tratar de abarcar nociones complejas y descubrir los principios implicados subyacentes.

De este modo, el estudiante de medicina comenzó a introducir a Albert en su asignatura preferida: la filosofía. El joven adolescente que padecía «dificultades de aprendizaje» en la escuela comenzó a estudiar las obras de Kant, que son endiabladamente difíciles: metafísica alemana en su versión más prolija y oscura. De hecho, puede que en este gesto de Max incluso hubiera algo de malicia en un intento de poner a Albert en su sitio. Pero la obra de Kant contenía el sistema filosófico más fascinante de todos, una estructura de profundidad excepcional que pretendía explicar absolutamente todo. Anteriormente, Einstein se había enfrentado a sutilezas y refinamientos intelectuales, a conceptos que requerían una concentración extrema tan sólo para entenderlos y a técnicas brillantes. Pero con Kant aprendió, por primera vez, lo que la mente en toda su gloria es capaz de alcanzar: un sistema que abarque el universo. Einstein nunca olvidó esta lección. La broma de Max, si es que fue una broma, iba a tener consecuencias palpables.

En 1894, cuando Einstein tenía quince años, el negocio de su padre quebró una vez más. La familia se mudó a Italia, donde su padre estableció una nueva fábrica cerca de Milán. Pero a Albert lo dejaron en una casa de huéspedes en Munich para que obtuviera el diploma del Instituto Luitpold. Esto le permitiría entrar en la universidad, donde obtendría un título de ingeniero y después se uniría al negocio familiar. La familia de su madre financiaría sus estudios hasta que Hermann se recuperara.

En seis meses Einstein sufrió una crisis nerviosa y le expulsaron del instituto porque (según su propio relato) su presencia en clase era «un trastorno y alteraba a los demás alumnos». Puede que la crisis nerviosa fuera fingida con el fin de que le enviaran a Italia junto a sus padres. Pero parece que la expulsión sí fue real. Einstein había desarrollado una aversión especial a la disciplina y, de acuerdo con sus memorias, consideraba el plan de estudios académico como una mezcla de engaño, de improcedencia y de aburrimiento. Por lo que respecta a la Grecia antigua, la historia, la geografía y sorprendentemente, la biología y la química, ni siquiera se molestó en probar. Comenzaba a ser consciente de la precocidad de su intelecto (que dejaba atrás a todos en matemáticas y física), lo cual le infundió una

acusada seguridad en sí mismo. Y esto, en combinación con cierto grado de inmadurez, le hacía parecer insolente y engreído.

Albert disfrutó de un año muy agradable en Italia. No iba a la escuela, aunque parte de su tiempo lo dedicaba a escribir sobre uno de los problemas científicos más difíciles del momento: la relación entre la electricidad, el magnetismo y el éter (el medio invisible que transmitía ondas electromagnéticas). Desde un punto de vista profesional, esto no añadía nada original, pero era una proeza admirable en una persona de dieciséis años. Además demostraba que seguía pensando en el magnetismo y en el modo en que éste viajaba a través del espacio.

A finales del año, realizó el examen de admisión en la Politécnica de Zúrich. El profesor de física, Heinrich Weber, estaba asombrado con sus sorprendentes notas en matemáticas y física. Sin embargo, su padre, Hermann, reaccionó de un modo un tanto distinto cuando se enteró de sus notas en francés, biología, historia y otras asignaturas. Einstein había suspendido de un modo estrepitoso, y casi seguro que lo hizo adrede, pues no deseaba embarcarse en un curso de ingeniería que culminaría con su adhesión al negocio de material eléctrico de su padre. Sin embargo, gracias a la intervención personal del profesor Weber, le ofrecieron una plaza en la Politécnica de Zúrich para el año siguiente. Sólo había una condición añadida: Einstein tenía que asistir a una escuela, a cualquier escuela, durante el año que mediaba.

Hermann reconoció la poca disposición de su hijo a participar en el negocio familiar. Pero estaba perdido: no tenía dinero y se preguntaba si debía insistir en que Albert acudiera a ayudar en el negocio inmediatamente. Una vez más se puso en contacto con los parientes de su mujer y una vez más accedieron a financiar la educación de Albert. Pero esta vez querían ver resultados. Era absurdo desperdiciar el dinero en un inútil.

Mucho tiempo después de todas estas decepciones y disputas, muchos años después de la muerte de Hermann, Einstein siempre insistió en algo acerca de su padre: que era «sabio». Que Hermann comprendiera las necesidades y la intuitiva aversión de su caprichoso hijo a enterrarse en el negocio familiar resumía la sabiduría de Hermann. Sin esto no habría habido teoría de la relatividad.

Hermann decidió enviar a Albert a la escuela de una población a las afueras de Zúrich, y le permitió estudiar física y matemáticas en vez de una ingeniería cuando entró en la Politécnica de Zúrich. Y esta vez, en lugar de quedarse en una solitaria casa de huéspedes, Einstein viviría con la familia de uno de los profesores.

A pesar de la «sabiduría» de su padre, Einstein seguía teniendo ciertas reticencias a la hora de volver a la escuela. Pero éstas desaparecerían pronto ya que Aarau resultó ser una agradable localidad ribereña ubicada entre viñedos ondulados, y sus anfitriones, la familia Winteler, eran alegres y acogedores. No era Alemania, sino Suiza. En lugar de rigidez pedagógica encontró apertura hacia el debate intelectual. Einstein disfrutaba de lo lindo cuando acompañaba a la familia los fines de semana en expediciones para observar aves y en excursiones por las montañas.

Einstein había aprendido a tocar el violín por primera vez gracias a su madre y, por entonces, ya era un intérprete novel consumado. Durante las tardes musicales en la casa de los Winteler, entretenía a la familia interpretando dúos con Marie, la hija de 18 años, que le acompañaba al piano. Albert era un violinista animado: la música parecía mostrar la faceta pasional de su carácter.

Hay fotografías de la época que muestran a Einstein como un joven apuesto de pelo oscuro y rizado, bigote en ciernes, y con cierto aire de seguridad en sí mismo. Va bien vestido, a pesar de la incipiente evidencia del aspecto despreocupado que más tarde se convertiría en su sello de identidad; en esa etapa prematura, este rasgo únicamente le añadía un toque de jovial chulería. Quizás era inevitable que Marie se enamorara de él.

Se trataba de la primera experiencia romántica de Albert, y parece que fue bastante intensa, platónica y un poco unilateral. La física matemática ya era una pasión primordial en Einstein y así sería a lo largo de toda su vida. Pero le gustaba la compañía de las mujeres y sabía que resultaba atractivo.

Durante este período Einstein se desenvolvía en la sociedad con alegría y seguridad en sí mismo, y poseía un espíritu claramente transgresor; además, le gustaba reírse a carcajadas. Un amigo de clase recordaba cómo adoptaba la actitud de «filósofo risueño, burlón e ingenioso que fustigaba cualquier presunción o pose». Pero tenía esa incorregible tendencia a sumirse en sus propios pensamientos. Quizás de un modo inevitable, el romance con Marie se derrumbó cuando ocupó su plaza en la

Politécnica de Zúrich en el otoño de 1895. Ella tenía el corazón roto; él, sin un atisbo de vergüenza, decidió olvidarlo todo.

La Politécnica de Zúrich era la escuela técnica más importante de Centroeuropa en la época. Sus laboratorios estaban magníficamente equipados por Siemens (irónicamente, se trataba de uno de los grandes consorcios industriales que sacaron a Hermann del negocio), y atrajo a un profesorado del mejor calibre. A pesar de esto, Einstein pocas veces aparecía por clase. Uno de sus profesores, el gran matemático rusoalemán Hermann Minkowski, lo llamó «perro vago». Pero Einstein persistió en mantener su actitud engreída de siempre. Su ingratitud hacia el profesor Weber —que había sido el responsable de que le aceptaran en la universidad— fue típica de él. Las clases de física que impartía Weber incluían algunos de los mayores avances técnicos que se habían realizado en los veinte años anteriores, y Einstein se mostraba francamente desdeñoso. En el laboratorio se negaba a obedecer instrucciones pues prefería idear sus propios métodos, más modernos. Durante un experimento para determinar los efectos del éter, su equipo estalló, lo cual le provocó una herida grave en la mano derecha. Por fortuna no le duró mucho y pronto pudo volver a coger el violín.

Einstein pasaba la mayor parte del tiempo leyendo con avidez, abriéndose camino a través de los últimos avances de la física. En el siglo pasado se habían logrado enormes progresos científicos, especialmente en física que, entonces era la vanguardia del conocimiento científico. La situación había alcanzado el estado en el que todos los elementos dispares del conocimiento científico parecían unirse en una vasta visión global. La perspectiva de una humanidad que alcanzara un conocimiento absoluto sobre el mundo estaba en el horizonte. Muchos creyeron que se trataba del momento más emocionante de la historia desde el punto de vista científico. Las generaciones futuras no tendrían nada que descubrir y estarían condenadas al mero trabajo tedioso de la medición.

No obstante, en otras disciplinas estaban comenzando a surgir ciertas dudas. Algunas antiguas certidumbres empezaban a cuestionarse, lo cual originaba la sospecha creciente de que la física clásica no era adecuada para describir las cada vez más complicadas realidades del mundo físico.

Muchos intelectuales de Zúrich que contemplaban el mundo con una perspectiva no científica se hacían eco de tales creencias de una forma misteriosa. Trostsky, Lenin, Rosa Luxemburgo (y más tarde los futuristas, los dadaístas y James Joyce) frecuentaban los cafés de Zúrich. En aquellos tiempos era mucho más que un centro bancario provinciano dirigido por gnomos. Era una ciudad viva en el corazón de Europa con una sociedad cosmopolita cuya vida giraba en torno a los cafés.

En medio de las tandas de lectura e investigación cada vez más esotéricas, Einstein veía a sus amigos de la universidad en el Café Metropole, un famoso lugar situado cerca del río y frecuentado por estudiantes. Había empezado a fumar en pipa y su bebida preferida era el café con hielo. (En aquella época Einstein no bebía cerveza, principalmente porque no tenía suficiente dinero. De hecho, a lo largo de su vida, nunca se aficionó al alcohol, pues creía que le embotaba el cerebro.)

Einstein tenía un círculo pequeño de amigos íntimos. Todos eran personas brillantes, estudiaban matemáticas o física y estaban obsesionadas con las cuestiones científicas fundamentales. Sin estas cualidades habría sido imposible seguirles en sus conversaciones.

De los compañeros de clase de Einstein, Marcel Grossman fue quizá el primero en darse cuenta de que la lucidez de Einstein era algo fuera de lo común. Cuando llegaba la época de exámenes, Grossman le prestaría desinteresadamente a Einstein sus apuntes: de otro modo no habría podido abarcar el programa de estudios. Michelangelo Besso, estudiante de ingeniería amigo de Einstein, era un personaje agradable que compartía el interés de Einstein por la filosofía. Le introdujo en la obra de Ernst Mach, el filósofo de la ciencia cuyo nombre quedó inmortalizado por la medición de la barrera del sonido. En aquellos días, Mach pretendía convulsionar de forma similar los incuestionables supuestos abstractos de la física clásica. Un tercer amigo íntimo de Einstein era Fritz Adler, hijo del fundador del Partido Socialdemócrata de Austria. Einstein admiraba a Adler por su idealismo inquebrantable. La actitud iconoclasta de Einstein era algo más que un desmandamiento juvenil. El antiautoritarismo, el antimilitarismo, el desprecio hacia métodos y presunciones anticuados formaban parte de un idealismo social creciente. Todo esto se defendía a ultranza, si bien, en ocasiones de un modo

ingenuo y utópico: dos características del idealismo de Einstein que perdurarán a lo largo de su vida.

Cuando no trabajaba a solas en su habitación, o mantenía serias conversaciones (salpicadas de carcajadas maníacas) con sus amigos en el Café Metropole, Einstein salía a navegar por el Lago Zúrich con la hija de su casera. Esto marcó el comienzo de dos aficiones que perseguiría con entusiasmo hasta el final de sus días: a saber, navegar y flirtear. (La hija de la casera no fue la única persona a la que invitó a estos íntimos viajes en barco, a pesar de que el barco pertenecía a la familia de ésta.)

Sólo una persona era capaz de abarcar todas estas facetas de la vida de Einstein: Mileva Maric, la única mujer estudiante de su clase. Mileva era serbia, de Novi Sad, que entonces pertenecía al Imperio austrohúngaro. Su padre era un funcionario que la había enviado a la Politécnica de Zúrich porque como mujer no le estaba permitido estudiar física avanzada en su país. (Hubo que esperar ocho años para que Marie Curie se convirtiera en la primera mujer que recibía un doctorado en cualquier materia en Francia: el mismo año en que ganó su primer Premio Nobel.) A diferencia de las demás mujeres con las que Einstein pasaba el rato, Mileva era de aspecto bastante corriente y no coqueteaba en absoluto. Rara vez se reía y, a causa de una cadera permanentemente dislocada, cojeaba ligeramente al andar. Muchos se han preguntado cómo llegó a ocupar un lugar tan central en la vida de Einstein en aquellos días. En fotografías contemporáneas aparece con duras facciones esclavas, pero la naturaleza de sus oscuros ojos y de sus gruesos labios insinúa una sensualidad secreta. También se trataba de la primera mujer con la que Einstein podía discutir sus preocupaciones más profundas. Cuando empezaba a charlar de física, ella estaba lo suficientemente al corriente como para hacer alguna sugerencia. Y Einstein, naturalmente, admiraba su independencia pionera, un raro logro entre las mujeres de la época.

En 1900 Einstein tomó prestados los apuntes de Grossman por última vez y se presentó a los exámenes finales. Obtuvo unos resultados irregulares que apenas dejaban ver su excepcional mente científica. Estos resultados, en combinación con su negativa a escuchar a los profesores, contribuyeron a que no recibiera ningún apoyo para la carrera académica que deseaba seguir. Solicitó plaza en varias

universidades, a su estilo. La mezcla característica de Einstein, que consistía en hacer alarde de su poca ortodoxia y gran autoestima intelectual (con pocas pruebas concretas que lo respaldaran) estimulaban la ausencia de ofertas.

En 1900, Einstein obtuvo la ciudadanía suiza, en parte porque allí se sentía como en casa y también para evitar volver a Alemania a prestar el servicio militar. Pero esto no le ayudó a la hora de solicitar trabajo, ya que también poseía otra característica personal que era aún más difícil de disimular que la autoestima; a saber, su condición de judío. El antisemitismo era muy corriente en toda Europa en los distintos ámbitos profesionales. (Sólo habían pasado seis años desde que el famoso Caso Dreyfus sacudiera París, cuando Dreyfus, un oficial judío del ejército francés fue enviado a la Isla del Diablo acusado falsamente de espionaje.) Einstein empezó a quedarse sin dinero y finalmente tuvo que aceptar un puesto temporal en la Escuela Técnica de Winterthur, que estaba a sólo dieciséis kilómetros al norte de Zúrich.

La actitud de Einstein frente a la disciplina le proporcionaba popularidad pero también le hacía ineficaz como profesor. Durante su tiempo libre continuaba con sus investigaciones, que había empezado a enfocar hacia la posibilidad de un vínculo entre la fuerza molecular y la fuerza de la gravedad, que actuaba sobre vastas distancias. En esta etapa, trataba de incorporar los últimos avances científicos a la estructura general de la física clásica más que proponer una estructura alternativa. Pero ya empezaba a reflexionar sobre un orden más amplio de las cosas, en un intento por avanzar respecto a Newton. Una empresa ambiciosa, pero tal y como le comentó a Grossman en una carta: «Es maravilloso reconocer los rasgos unificadores de un complejo de fenómenos que se presentan bastante poco relacionados con la experiencia directa de los sentidos». Einstein empezaba a descubrir sus facultades.

Cuando podía, los fines de semana viajaba a Zúrich para ver a Mileva, y durante la semana intercambiaban cartas. Después de un fin de semana de mayo, Einstein escribió: «Qué deliciosa fue la última vez, cuando se me permitió estrechar en mis brazos tu querida y delicada persona tal y como la naturaleza la creó». Se habían convertido en amantes.

Unos meses después, el trabajo de profesor de Einstein llegó a su fin y no tenía ninguna perspectiva de trabajo futuro. Al enterarse de esto, Grossman, su viejo amigo de la época de estudiante, le pidió a su padre que recomendara a Einstein para un trabajo en la Oficina Suiza de Patentes en Berna. Einstein supo que por el momento no había ningún trabajo disponible, pero que lo tendrían en cuenta si surgía alguna vacante. La siguiente noticia que recibió fue que Mileva estaba embarazada.

Einstein tenía entonces 21 años, se había quedado sin trabajo y prácticamente no tenía dinero.

Una vez más, el negocio de su padre había quebrado y los parientes de su madre ya no estaban dispuestos a seguir manteniéndolo. Einstein le propuso a Mileva que se casaran, pero ambos sabían que eso era imposible: él era incapaz de mantenerla.

Finalmente, Mileva volvió a Novi Sad, donde dio a luz a una niña, a la cual Albert y Mileva mencionaban en sus cartas como «Lieserl» («pequeña Lisa»).

A comienzos de 1902 Einstein viajó a Berna donde, al fin, había una vacante en la Oficina de Patentes. Se convirtió en examinador técnico (Tercera Clase), lo cual implicaba seleccionar entre los numerosos inventos sujetos a la aprobación de la Oficina. Éstos incluían el habitual surtido de artilugios ingeniosos, hilarantes objetos inverosímiles y dispositivos simples con los que se fundarían dinastías financieras. Einstein examinaba cada artilugio y después leía la presentación que lo acompañaba (a menudo tan retorcidamente compleja e impenetrable como el aparato que pretendía describir). Su tarea era asegurarse de que estos dos elementos dispares tuvieran alguna relación entre sí y de que al menos uno de ellos fuera comprensible. Einstein descubrió que incluso los conceptos más complejos normalmente podían reducirse a un conjunto de principios simples y fundamentales. Fue una lección que nunca olvidaría.

Entretanto, Mileva y la bebé, Lieserl, permanecían a 960 kilómetros en Novi Sad. Al parecer Lieserl era una niña enfermiza y la propia Mileva tampoco estaba demasiado bien. La consiguiente historia de Lieserl y sus padres es una tragedia típica de la época, que no salió a la luz hasta la década de 1990 y que todavía no se ha dilucidado del todo. Parece que los padres de Mileva prefirieron que diera a Lieserl en adopción, y poco podía hacer (o haría) Einstein al respecto. De modo que cabe

preguntarse qué ocurrió con el primer hijo que llevaba los genes de una de las mentes científicas más prodigiosas de todos los tiempos. Lieserl parece haber desaparecido sin dejar rastro, aparte de un curioso episodio. Más de 30 años después, cuando Einstein era famoso en todo el mundo y vivía en Norteamérica, se enteró de que en Europa una mujer trataba de hacerse pasar por su hija ilegítima. Einstein no la quiso demandar a su vez y, en su lugar, discretamente contrató un detective privado para descubrir si era cierto... El final de esta historia todavía no se conoce por completo. Si todo hubiera seguido su curso normal, Lieserl podría haber vivido al menos hasta la década de 1970. El editor de los trabajos de Einstein, el doctor Robert Schulmann, ha insinuado que una vez se hayan resuelto los problemas de la antigua Yugoslavia, quizás salgan a la luz nuevas pruebas.

En diciembre de 1902, menos de un año después del nacimiento de su hija, Mileva Maric se marchó de Novi Sad sola y con destino a Suiza. Para todas sus amistades era obvio que había padecido una tristeza profunda, pero ella nunca reveló la causa. Por una mezcla de compasión, afecto y sentido del deber, Einstein había decidido casarse con Mileva. Los motivos de ésta también eran variados, pero creyó que no tenía otro lugar al que dirigirse.

El 3 de enero de 1903, Albert y Mileva se casaron. Tras una comida de celebración con algunos amigos en un restaurante local, los recién casados salieron a la heladora noche para dirigirse al pequeño apartamento de Einstein en el número 49 de Kramgasse, a la vuelta de la esquina. Cuando llegaron, Einstein se dio cuenta de que había extraviado la llave. Ésta es la típica anécdota que se cuenta normalmente en clase como clásico ejemplo de la excentricidad distraída de Einstein. Otros pueden inclinarse hacia una interpretación más freudiana.

Einstein tenía entonces 23 años y era muy pobre. Con el objeto de evitar enfrentarse a la difícil realidad, se enterró en sus investigaciones científicas. Esta actitud se convirtió en una constante: cuando las cosas se ponían feas, Einstein se encerraba en su mundo abstracto. Durante este período produjo varios trabajos científicos, algunos de los cuales se imprimieron en la prestigiosa revista *Annalen der Physik*. A Einstein le interesaba la termodinámica y desarrolló ciertos métodos estadísticos para analizar los movimientos del vasto número de moléculas que ocupa un volumen de líquido o gas comparativamente pequeño. Ninguno de estos

trabajos son especialmente originales, y sólo con percepción retrospectiva es posible ver algún indicio de los grandes descubrimientos que tendrían lugar posteriormente.

En 1904 Mileva dio a luz a su primer hijo, Hans Albert. Unos meses después, Besso, el viejo amigo de Einstein en Zúrich, también consiguió trabajo en la Oficina de Patentes. Esto significaba que ahora Einstein tendría alguien con quien discutir sus investigaciones científicas. Entonces sus ideas comenzaban a estar fuera del alcance de Mileva, y sus discusiones fueron reduciéndose drásticamente a causa de su maternidad. No era de extrañar que Mileva estuviera algo resentida por esta razón y Besso no siempre era bienvenido en la calle Kramgasse 49. Por ello, Einstein tomó por costumbre discutir sus ideas con Besso cuando volvían del trabajo caminando, a menudo dando un rodeo.

Puede que los trabajos de Einstein que se publicaron no fueran de mayor importancia, pero el alcance de sus inquietudes e intuiciones era decididamente original. En realidad eran tan originales que no veía el modo de expresarlas de una forma coherente, tal y como se quejaba a Besso durante sus paseos. Por entonces Einstein ya era consciente de que la física clásica estaba acabada. Espacio, tiempo y luz no se ajustaban a las definiciones de Newton. Era necesario hallar una explicación completamente nueva del universo.

Así eran las revolucionarias ideas que se estaban gestando en la cabeza de Einstein, y dedicó todo el tiempo que pudo a tratar de elaborarlas. No obstante, la vida en el hogar de Einstein era muy poco propicia a una reflexión, tan intensa y amplia como las mejores desde Newton. En la actualidad, el apartamento de Kramgasse 49 posee la calma aséptica de un pequeño museo dedicado a Einstein y a la teoría de la relatividad que concibió allí. Durante aquella época temprana, al calor de la creatividad y de la vida familiar, la atmósfera era en cierto modo más embriagadora. Las visitas recordaban el intenso hedor de la ropa y los pañales secándose, del tabaco de pipa de Einstein y del humo que rezumaba de la vieja estufa. En invierno hacía demasiado frío para abrir las ventanas; en verano, el calor intensificaba los olores. Se podía encontrar a Einstein sumergido en un libro, meciendo distraídamente con el pie al niño que berreaba en la cuna, mientras Mileva fregaba los cacharros en la pila. Alguna que otra vez, sus amistades se lo

encontraban en la acera, inclinado entre la multitud, con su cuaderno abierto de par en par sobre el cochecito del niño, sumergido en un largo cálculo al tiempo que el bebé le golpeaba en la cabeza con el sonajero.

Toda esta concentración obsesiva alcanzó un repentino y espectacular climax en 1905. Iba a tratarse del *annus mirabilis* de Einstein. A lo largo de ese año envió cuatro trabajos a *Annalen der Physik*, que cambiaron literalmente el mundo.

El primer trabajo que apareció en *Annalen der Physik* fue «Un punto de vista heurístico sobre la producción y la transformación de la luz». El propio Einstein se dio cuenta de que este trabajo de diecisiete páginas era «muy revolucionario» y, de hecho, transformaría por completo nuestro conocimiento sobre la naturaleza de la luz, hasta tal punto que la física nunca volvería a ser la misma.

Con el objeto de comprender la importancia del trabajo de Einstein, debemos en primer lugar remontarnos a la historia científica de la luz. Desde la época de la Grecia antigua, los filósofos y los científicos habían creído que la luz estaba formada por diminutos granos de materia. Con la invención del telescopio a comienzos del siglo XVII, esta idea se puso en tela de juicio. En 1678, el astrónomo y físico holandés Christian Huygens dio a entender que en realidad la luz estaba compuesta por ondas. Pero tal y como objetó un crítico contemporáneo: «¿Cómo podrían las olas del mar desplazarse sin salmuera?». En otras palabras, las ondas siempre requieren una substancia o «medio» que las transmita. Las ondas de la luz podían propagarse a través del aire, el agua y el cristal, pero, ¿cómo viajaban a través del espacio o del vacío? Huygens propuso la idea de una sustancia invisible que lo impregna todo llamada éter. Más tarde esta idea se amplió y se concluyó que se trataba de una entidad ingrávida y estática que impregnaba el universo entero.

En 1704 Isaac Newton publicó *Óptica*, su gran trabajo sobre la luz, en el cual describe, de manera exhaustiva, todos los comportamientos y cualidades de la luz. Para explicar estas múltiples propiedades propuso una teoría corpuscular, según la cual la luz está formada por partículas de algún modo inducidas por ondas. Por desgracia, Newton no fue capaz de hallar una explicación convincente que aunara estos dos elementos aparentemente contradictorios.

La teoría ondulatoria de la luz recibió gran impulso en el siglo posterior gracias al trabajo dirigido por el físico escocés James Clerk Maxwell, que moriría en 1878, un

año antes de que naciera Einstein. En la década de 1860, Maxwell calculó que tanto la fuerza eléctrica como la magnética debían propagarse a través del espacio aproximadamente a la velocidad de la luz. De inmediato dedujo que la luz también era una forma de radiación electromagnética que se propagaba en ondas por medio del éter. Además, sostenía que la longitud de onda de la luz sólo ocupaba una pequeña parte del espectro de las ondas electromagnéticas, y pronosticó que pronto se descubrirían otros tipos de ondas electromagnéticas con diferentes longitudes de onda.

El físico alemán Heinrich Hertz confirmó estos hallazgos en 1888 al descubrirlas ondas radiofónicas, las cuales actuaban precisamente del mismo modo que el calor y la luz, y todas mostraban cualidades ondulatorias. Hertz fue el primero que emitió y recibió las recién descubiertas ondas radiofónicas, pero desgraciadamente murió por envenenamiento en la sangre en 1894, antes de que pudiera encontrar un uso a su descubrimiento. Fue el físico italoirlandés Marconi el que desarrollaría la aplicación práctica del descubrimiento de Hertz. El trabajo de Hertz corroboró posteriormente la teoría ondulatoria de la luz al confirmarse la sospecha de Maxwell de que la fuerza eléctrica y la magnética se propagaban a través del éter a la misma velocidad que la luz.

Por desgracia, en aquel momento algunos empezaron a dudar del éter, en el que parecía apoyarse toda la teoría ondulatoria de la luz. El éter no sólo tenía que llenar todo el espacio e impregnar todos los cuerpos, sino que además tenía que ser uniforme y rígido de un modo consecuente, si tenía que transmitir ondas de luz.

En 1887, el científico naval americano Albert Michelson y su colaborador Edward Morley hicieron un experimento con el propósito de medir la velocidad de la Tierra. Esperaban hacerlo demostrando el efecto del movimiento de la Tierra a través de éter estático. Pero descubrieron que no había tal efecto, lo que llevó a los observadores a empezar a cuestionarse la existencia del éter. A pesar de su capacidad para impregnarlo todo, ¿alguien había encontrado alguna vez una prueba real que demostrara la existencia de esta sustancia escurridiza?, ¿alguien había siquiera registrado su presencia en algún experimento? No obstante, si no era éter, ¿qué otro medio transportaba las ondas de la luz a través del espacio?

A pesar de todo el trabajo de Maxwell y la confirmación aparentemente concluyente de Hertz, empezaron a surgir pruebas nuevas que parecían contradecir la teoría ondulatoria de la luz. Se observó un efecto fotoeléctrico cuando la luz chocaba contra ciertos sólidos. Este efecto estaba causado por una emisión de electrones. En particular, se descubrió que cuando la luz ultravioleta chocaba contra ciertos metales provocaba una emisión de electrones mensurable. El físico alemán Phillip Lenard explicó este hecho al sugerir que la luz al caer separaba a estos fotoelectrones, tal y como se conocían, del metal. Si ese era el caso, un aumento de luz seguramente provocaría un aumento en la velocidad de los electrones dispersos. Pero esto no ocurrió; en su lugar, se desprendió un mayor número de electrones pero a la misma velocidad. Entonces Lenard descubrió algo aún más raro. Cuando alteró el color de la luz (o, dicho de otro modo, cambió su frecuencia de onda) esto último afectó a la velocidad de los electrones desprendidos. A medida que se aumentaba la frecuencia, aumentaba la velocidad de los electrones desprendidos. Además de éstos, el físico alemán Max Planck investigó en Berlín otros fenómenos relacionados que indicaban discrepancias en la teoría ondulatoria. Empezó una descripción matemática de estos fenómenos que condujo a unos resultados cada vez más asombrosos, los cuales parecían contradecir los principios básicos de la física clásica tal y como se habían entendido desde la época de Newton, doscientos años antes.

El 14 de diciembre de 1900 Planck llegó a una conclusión trascendental. Más tarde, ese mismo día, mientras paseaba por el bosque de Grunewald, cerca de Berlín, le anunció a su joven hijo: «Hoy he hecho un descubrimiento tan importante como el de Newton [...] he dado el primer paso que traspasa la barrera de la física clásica». De acuerdo con los hallazgos de Planck, cuando la luz chocaba con la materia no era absorbida o propagada en una ráfaga continua, tal y como sugería el sentido común (así como la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular de la luz). En su lugar se propagaba o absorbía en explosiones separadas de energía, algo muy parecido a lo que ocurría con las partículas. A estas explosiones separadas de energía las llamó cuantos, que proviene del latín «quanta». El tamaño de estos cuantos estaba relacionado con la frecuencia de onda de la luz.

Al parecer, la luz se contradecía a sí misma al constar, al mismo tiempo, de ondas y partículas. Esto era literalmente inconcebible y Planck se negó a seguir adelante; defendía que su teoría sólo describía la relación entre materia y luz. No se aplicaba a la naturaleza de la propia luz. Estaba seguro de que las explosiones discontinuas de energía —los cuantos— de alguna manera se unían para convertirse en ondas cuando se desprendían de la materia. Pero no fue capaz de explicar cómo ocurría. La teoría cuántica se había gestado, pero incluso para su autor era en gran parte inexplicable.

Fue Einstein el que finalmente propuso una solución a este problema. Planck, de modo muy parecido a sus cuantos, era contradictorio: tenía razón y se equivocaba al mismo tiempo. La existencia de los cuantos explicaba la luz en relación a la materia; pero iba más lejos, explicaba además la auténtica naturaleza de la luz. Einstein formuló su idea en su histórico trabajo de 1905 titulado «Un punto de vista heurístico sobre la producción y la transformación de la luz». El propio Einstein pudo haber pensado que era «muy revolucionario», pero permaneció indeciso de una manera extraña. Admitió que su visión era «irreconciliable con los principios establecidos [...] quizás, en última instancia, incluso era insostenible».

Según Einstein, para ciertos fines, había que considerar que la luz estaba formada de partículas independientes, como si de un gas se tratara, pero con masa cero en reposo. En estos casos la luz estaba formada por cuantos (que después se llamarían fotones). Pero además había otros casos en los que la luz exhibía un comportamiento ondulatorio, y entonces había que considerar que estaba formada únicamente por ondas.

Planck había detectado una nueva anomalía que traspasaba la frontera de la física clásica. La solución de Einstein supuso el final definitivo de la visión clásica de la física en lo que a la luz respecta; peor aún, desafiaba las leyes de la lógica. Se suponía que la luz era dos cosas que se contradecían: ¿cómo podía haber algo que estuviera formado por partículas discretas y al mismo tiempo fuera una onda con una longitud de onda mensurable? La ciencia había entrado en una nueva era, más allá del sentido común. En casos como éste, la ciencia no buscaba necesariamente entender qué estaba ocurriendo, sino describirlo, por caminos (contradictorios o no) que podían utilizarse para explicar fenómenos y determinar el saber futuro.

El «punto de vista heurístico» de Einstein (que se basa en la observación de fenómenos más que en teorías generales) explicaba el efecto fotoeléctrico y justificaba la ausencia del éter. Los cuantos de luz actuaban como partículas que, al contrario que las ondas, no requerían ningún medio para propagarse. Tal y como muchos habían sospechado durante cierto tiempo, ya no se necesitaba esa sustancia escurridiza. (El experimento mal mezclado que Einstein realizó en la universidad para detectar el éter pudo haber estallado y dañarle la mano pero ahora, por fin, se salía con la suya aboliendo el éter por completo.)

La nueva teoría de la luz de Einstein también explicaba ciertas anomalías que habían aflorado en la física clásica. Una idea tan mecánica del mundo no era evidentemente, la definitiva. Aunque la idea de la luz de Einstein guardaba un curioso parecido con la imprecisa formulación que había realizado Newton 200 años antes, representó el comienzo del final de la física de Newton. El razonamiento físicomatemático de Einstein preparó el terreno a la teoría cuántica y logró que el concepto original de Planck (los cuantos) fuera fundamental para entender la auténtica naturaleza de la luz.

Sin embargo, Planck no lo entendió así. Se mantuvo en sus trece y defendía que los cuantos sólo se atribuían a la luz en relación con la materia. Todavía en 1912, Planck seguía atacando el «punto de vista heurístico» de Einstein en sus conferencias en la Universidad de Berlín. Y no era el único. Pocos científicos estaban en disposición de creer en la posibilidad de que la ciencia pudiera desafiar a la lógica de este modo. Hasta 1915 la teoría de la luz de Einstein no empezó a ganar aceptación, ya que las evidencias a favor, fruto de los experimentos, la hacían cada vez más irrefutable. En la década de 1920, la teoría cuántica empezó a surgir como uno de los mayores adelantos del siglo XX. Planck obtuvo el Premio Nobel en 1919 y Einstein dos años después. (Einstein recibió esta máxima recompensa por sus trabajos sobre la luz y los cuantos, no por la teoría de la relatividad.) En el terreno práctico, la teoría de la luz de Einstein iba a desempeñar un papel destacado en la invención de la televisión. Pero su aplicación más notoria hoy es la «célula fotoeléctrica» que abre puertas automáticamente. De niño, Einstein había permanecido despierto acostado en la cama preguntándose el modo en que la

fuerza magnética atravesaba el espacio: veinte años después, la explicación que dio sobre este fenómeno transformó la física.

«Una nueva determinación del tamaño de las moléculas» es el segundo trabajo que apareció en el famoso Volumen 17 de las *Annalen der Physik* (un raro ejemplar del cual se rumorea que ha cambiado de manos recientemente por más de 10.000 dólares). El segundo trabajo de Einstein resume un método para describir una molécula del azúcar. De este trabajo se ha dicho con acierto que es como «un pececillo entre las ballenas de los otros tres trabajos».

Tras concluir este entretenimiento, Einstein reanudó su dedicación a materias más fundamentales. Su siguiente trabajo se llamó «Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario, según la teoría cinética del calor». El estudio del turbio líquido a duras penas podía suponer un terreno prometedor que irrumpiera como algo extraordinario en los descubrimientos científicos, pero la propensión de Einstein a llegar hasta la misma raíz del problema hizo que fuera de otro modo.

Una vez más, es necesario hacer un poco de historia. En 1828, el naturalista escocés Robert Brown empezó a observar las partículas de polen que quedaban suspendidas en el agua durante sus investigaciones botánicas. Cuando lo estudiaba bajo la lupa de un microscopio, percibió que cada una de las partículas del polen mostraba un continuo movimiento en zigzag aparentemente aleatorio: era como si estuvieran vivas. Pero cuando sustituyó el polen orgánico por un polvo inorgánico, observó exactamente el mismo efecto. Al parecer Brown había tropezado con un ejemplo de un imposible científico: el movimiento perpetuo. Brown se quedó perplejo ante este fenómeno, llamado movimiento browniano tras él, que siguió desconcertando a la comunidad científica a lo largo del siglo XIX.

Cuando Einstein estudió el movimiento browniano estaba intrigado por su aparente desafío a las leyes de la física y apareció con una solución característicamente original y osada. De acuerdo con la teoría del calor de la cinética molecular, las moléculas invisibles del líquido estaban en movimiento, el cual se intensificaba a medida que aumentaba la temperatura del líquido. En opinión de Einstein, el comportamiento aparentemente aleatorio de las partículas suspendidas en realidad se debía a que eran bombardeadas por las moléculas invisibles que constituían el

líquido. Se trataba de una propuesta muy atrevida, ya que muchos científicos reputados seguían convencidos de la inexistencia de moléculas y átomos. (Estas entidades seguían desafiando toda tentativa de dejarse ver. Al igual que con el evasivo éter, nadie había visto todavía una molécula.) Pero Einstein fue más allá y emprendió la demostración de la existencia de estas moléculas invisibles. Utilizando la dinámica estadística, incluso predijo el número exacto de moléculas en cualquier cantidad determinada de líquido.

El más simple resumen del modo en que se las arregló para realizarlo ofrece una idea de las complejidades que implicaba. Un objeto en agua (o en cualquier líquido o gas) sufre el continuo bombardeo de las moléculas de ese líquido o gas. Gracias al trabajo del azar, la cantidad de moléculas que bombardean un objeto grande desde todos los flancos se igualará, y el objeto no resultará desplazado. Sin embargo, un objeto mucho más pequeño, como una partícula de polen, es susceptible de ser empujada primero en una dirección y después en otra, a causa de ligero exceso de moléculas que le bombardean desde unas direcciones con respecto a las que lo hacen desde otras. Einstein propuso una fórmula para describir este efecto. Según ésta, el desplazamiento medio de las partículas visibles en cualquier dirección aumentaba del mismo modo que la raíz cuadrada del tiempo de observación. Si se medía la distancia que recorrían las partículas en ese tiempo, entonces se podía calcular el número de moléculas invisibles dentro de cierto volumen de líquido o gas. De este modo, Einstein calculó que un gramo de hidrógeno contiene $3,03 \times 10^{23}$ (es decir, más de 3 millones de millones de millones de millones) moléculas.

El trabajo de Einstein no sólo comenzó a probar la existencia de las moléculas, sino también a demostrar la densidad de su presencia y cómo predecir su comportamiento.

La demostración teórica de Einstein se confirmaría tres años después en los experimentos prácticos dirigidos por el físico-químico francés Jean Perrin. Los experimentos sobre el movimiento browniano de la gutagamba (una resina amarillenta) en agua que dirigió Perrin fueron la primera demostración práctica de la existencia física de átomos. Sus experimentos también revelaron la extraordinaria precisión de los cálculos puramente teóricos de Einstein.

Esta confirmación práctica de la obra de Einstein denota un rasgo esencial de su metodología. Se trataba de un nuevo acercamiento científico propio del siglo XX, tan característico como lo fueran a su modo el cubismo y la música atonal. El siglo XIX había sido testigo del desarrollo de muchas ramas de la ciencia desde su infancia hasta la plena madurez. Durante este período, el método científico había sido en gran parte empírico. Se habían logrado avances radicales a través de la experimentación, la observación y la utilización de aparatos ingeniosos. Pero el método de Einstein no era experimental, sino todo lo contrario. En el fondo seguía siendo un teórico impenitente. La experimentación revelaría posteriormente, que los hechos se ajustaban a la teoría. El antiguo método de elaborar teorías basadas en hechos que se apoyaban en pruebas experimentales era un proceso demasiado lento y prosaico para Einstein. Su mente prefería adelantarse y enfrentarse a la posibilidad última, mucho más allá de la esfera de la experimentación.

Einstein no estaba solo al tomar este camino, puesto que se iba a convertir en el método del siglo venidero. (Mucho antes de que fueran una realidad, se demostró, con cierto detalle, que las explosiones atómicas y las naves enviadas a la luna eran posibles en teoría.) Ahora, se trataba del genio de la regla de cálculo en la vanguardia científica, en lugar del sabio en el laboratorio.

En sus anteriores trabajos Einstein había demostrado la naturaleza de la luz y la existencia de los átomos, dos entidades fundamentales. Al hacerlo había transformado completamente la visión científica del mundo. Estas intuiciones únicas habrían bastado para situarle como una de las mentes científicas pioneras de su época. Pero fue aún más allá. Combinó sus intuiciones acerca de estos mundos microcósmicos y elaboró una teoría macrocósmica que transformó el universo. Este hallazgo le situaría entre los intelectos más productivos de la historia de la humanidad (junto con personajes como Newton y Beethoven).

Einstein sólo tenía 26 años y, aparentemente, era un pobre funcionario de baja categoría en la Oficina de Patentes de Berna. Puede que desarrollara el trabajo científico en su tiempo libre pero nadie, de ningún modo, ni siquiera la comunidad académica local, reconocía su talento.

A lo largo de su *annus mirabilis* Einstein trabajó en auténtica soledad. Poco más de dos siglos antes, Newton había experimentado un año parecido de creatividad

milagrosa, durante el cual él también produjo la mayor parte de su trabajo más importante. Tenía aproximadamente la misma edad que Einstein, y para huir de la peste vivía aislado en el campo. Pero Newton no tenía que ir a trabajar cada día y no vivía en un pequeño apartamento con una esposa y un bebé. La proeza intelectual de Einstein parece no tener parangón en la historia de la humanidad. La justificación de esta hipérbole sólo resulta evidente con el advenimiento de su cuarto trabajo.

Durante un tiempo Einstein había estado barajando la posibilidad de enfrentarse a formulaciones físicas de gran envergadura. Sin duda tenía que existir un patrón elemental e invariable con el que se pudieran medir todas las cantidades variables. De otro modo, todo se convertía en algo meramente relativo, que dependía del punto de referencia del espectador.

Contrariamente a la imagen popular que se tiene de él, Einstein no meditaba sobre estos temas en un profundo trance contemplativo (durante el cual tenían lugar todo tipo de excentricidades distraídas). Einstein prefería cultivar esta imagen entre sus colegas, pero la verdad no era tan sencilla. Era un pensador apasionado que en privado admitía que esas largas etapas en las que se sumía en pensamientos teóricos profundos le provocaban una «tensión psíquica [...] acompañada por todo tipo de conflictos nerviosos». En la primavera de 1905 Einstein se sorprendió sumido en la crisis mental más turbulenta que jamás había experimentado.

Cuando regresaba a casa caminando desde la Oficina de Patentes sometía a prueba sus ideas con Besso, pero pronto se hizo evidente que sus pensamientos se encaminaban hacia un terreno en el que los comentarios de Besso no le servían. Einstein se aficionó a deambular por las calles y soportales medievales de Berna, a menudo vagando distraídamente al otro lado del río y adentrándose en el campo de los alrededores. En cierta ocasión sólo volvió en sí cuando se descubrió caminando por una vereda empapado hasta los huesos en medio de una tormenta de rayos y truenos.

Parte del talento excepcional de Einstein residía en su capacidad para examinar a fondo las fórmulas y problemas más complejos hasta llegar a los principios fundamentales en los que se apoyan. A partir de éstos trataría de obtener todo tipo de deducciones, en busca de otros principios aún más fundamentales. Durante la

primavera de 1905, a causa del esfuerzo mental constante que todo esto requería, Einstein estuvo al borde del colapso mental. Estaba agotado, tanto física como mentalmente. No podía comer adecuadamente, ni tampoco dormir. Y lo que es peor, independientemente de su concentración mental, sus pensamientos permanecían dispersos. Por mucho que se esforzara, las piezas eran incompatibles. Se resistían a converger en una teoría consistente que él presentía que estaba ahí. En alguna parte. Había llegado a un callejón sin salida: parecía imposible avanzar. Un día, cuando regresaba a casa desde la Oficina de Patentes caminando con Besso, finalmente confesó: «Renuncio: he decidido abandonar. Toda la teoría».

Esa misma noche se acostó en la cama desesperado; al mismo tiempo era consciente de una curiosa sensación de alivio. Permaneció aturdido, ni despierto ni dormido. Al día siguiente volvió en sí extremadamente confuso. «Una tormenta se desató en mi cabeza», dijo para describirlo. Y en mitad de esta tormenta, de pronto aprehendió la idea que le había evitado durante tanto tiempo. Según sus propias palabras, fue como si hubiera accedido a los «pensamientos de Dios».

No se trataba de una comunicación personal con el Supremo. Einstein siempre insistió en que no creía en un dios personal. Pero, al igual que muchas mentes pioneras de su época (como Picasso, Wittgenstein e incluso Freud de vez en cuando) continuaba utilizando la palabra Dios asociada a grandes verdades que residen en el mismo límite del entendimiento humano. El hecho de mencionarlo parecía evocar un sentimiento de temor implícito. Al parecer, tanto Einstein como Picasso experimentaron ese profundo sentimiento de admiración del que hablaban los grandes filósofos, desde Platón hasta Kant.

Einstein describió lo que había comprendido del modo siguiente: «La solución se me presentó de repente, con la idea de que nuestros conceptos y leyes sobre el espacio y el tiempo sólo pueden ser válidos en la medida en que permanezcan en clara relación con nuestra experiencia; y esa experiencia podría provocar perfectamente la alteración de esos conceptos y leyes. Al revisar el concepto de simultaneidad y hacerlo más maleable llegué hasta la teoría especial de la relatividad». Este sencillo resumen puede parecer fácil de entender (si lo examinamos a fondo), pero el argumento físico–matemático y las fórmulas implicadas que tratan de demostrarlo

no lo son. Einstein los puso por escrito en un trabajo de 31 páginas titulado «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento».

Para entender la teoría especial de la relatividad (tal y como la llamó él) lo primero que uno debe tener presente es el sistema newtoniano al que reemplaza. De hecho, continuamos contemplando el mundo, en lo cotidiano, a partir de este sistema newtoniano. Según Newton todo, desde los planetas en órbita hasta la manzana que cae, está sujeto a la misma ley: la fuerza de la gravedad. El mundo se rige por la lógica y sus leyes son coherentes independientemente del lugar y las circunstancias en que se apliquen. Los cimientos de este mundo en el que rige el sentido común son el espacio y el tiempo. Tal y como Newton lo expuso de un modo tranquilizador en su Principia: «El tiempo verdadero, absoluto y matemático, por sí mismo y por su propia naturaleza, fluye de un modo uniforme, no está relacionado con nada externo, y se conoce bajo el nombre de duración». Asimismo, «el espacio absoluto, en su propia naturaleza, sin relación con nada externo siempre permanece parecido e inmóvil». Dicho de otro modo, el espacio y el tiempo son absolutos. Y así parecía. Siempre que alguien osaba cuestionar a Newton en esta materia, les remitía a Dios. Así eran las cosas. Simplemente se trataba del modo en que las cosas se habían ordenado. Pero, ¿por qué?, ¿cómo lo sabía Newton? El deber de la investigación científica es formularse este tipo de preguntas. Pero Newton imponía tal autoridad que pocos se atrevían a cuestionarle. El ataque iba a venir de un frente distinto. Incluso cuando las pruebas experimentales comenzaron a revelar discrepancias sobre el concepto newtoniano del universo, al principio sólo unos pocos pensaron en cuestionar toda la estructura de la física clásica.

La física clásica de Newton resolvía bastante satisfactoriamente el movimiento relativo. Un marinero tumbado en una hamaca podría creer que está parado con respecto a su barco; pero para alguien que observa desde la orilla el barco en movimiento, el marinero tendría una velocidad relativa. Del mismo modo, el observador estacionario de la orilla adquiriría gran velocidad relativa si se observara desde el espacio exterior, puesto que adquiriría la velocidad de la Tierra moviéndose por el espacio. Pero aquí se detenía la relatividad, ya que el espacio era estático e inmóvil (al igual que el evasivo éter que lo llenaba): éste era el modelo de referencia absoluto, junto con el tiempo absoluto.

Hasta la década de 1860 no se plantearon serias dudas sobre este estado de cosas, y fue gracias a la teoría de las ondas electromagnéticas de la luz de Maxwell (que había desempeñado un papel tan importante en el trabajo de Einstein sobre la luz). La teoría de Maxwell revelaba un problema en la mecánica clásica de Newton relativo a la velocidad de la luz sobre los objetos en movimiento. ¿La velocidad de la luz sería independiente de la velocidad del observador o la velocidad de su fuente? Parece que esto se confirmó en el famoso experimento que realizaron Michelson y Morley en 1887 para medir la velocidad de la Tierra a través del éter. Como ya hemos visto, esto planteó dudas sobre la existencia del éter estático que lo impregnaba todo. Pero hizo mucho más que eso. Esencialmente la intención era medir la velocidad de la luz (s) y después medir la velocidad de la luz al chocar con la Tierra en la dirección del movimiento de la Tierra. Ésta sería la velocidad de la luz menos la velocidad del movimiento de la Tierra ($s-m$). Se restan, y el resultado es la velocidad de la Tierra: $s-(s-m)=m$. Aunque resulte sorprendente, se descubrió que la velocidad de la luz era la misma en ambos casos. La velocidad de la Tierra parecía no influir en la velocidad de la luz. Pero no podía ser correcto. Desafiaba el sentido común (por no hablar de la física newtoniana).

Por esa misma época, Mach comenzaba a cuestionar las ideas de Newton sobre el espacio absoluto y el tiempo absoluto. La insistencia de Mach en las pruebas y hechos basados en experimentos redujo aquéllos a «puros conceptos mentales que no se pueden llevar al terreno de la experiencia».

Antes de llegar al final del siglo, el matemático más importante de la época, el francés Poincaré, también planteó dudas sobre las nociones del espacio y del tiempo absolutos. De una manera ingeniosa, argumentó que si una noche, mientras todo el mundo dormía, el tamaño del universo de pronto fuera mil veces más grande, el universo seguiría pareciendo absolutamente el mismo. ¿Cómo podríamos explicar lo que había ocurrido? ¿Cómo podríamos medir este cambio de dimensión? Simplemente, no podríamos. El concepto de espacio depende, de este modo, del marco de referencia desde el que se mide. La física clásica estaba entrando en crisis, y Poincaré era muy consciente de ello, y sugirió: «Quizás debiéramos construir una mecánica nueva por completo en la que (...) la velocidad de la luz

sería un límite infranqueable». Poincaré se abstuvo de dar ese paso que amenazaba con arrojar todo el pensamiento científico al caos. Pero Einstein no.

Fue Einstein el que finalmente halló una solución a muchas de las anomalías que por entonces se habían detectado en la física clásica. El logro de Einstein fue exponer una teoría que no sólo clarificaba estas anomalías, sino que en el proceso planteó una explicación del universo completamente nueva. Esencialmente propuso que la velocidad de la luz a través del espacio es constante, con independencia de que la fuente de luz o el observador estén en movimiento o no. Al mismo tiempo vino a decir que no hay nada similar al movimiento absoluto. Y esto quiere decir que no hay nada similar al reposo absoluto. En tal caso, toda velocidad es relativa según el marco de referencia particular (aunque la velocidad de la luz, al ser constante, será siempre la misma sea cual fuere la referencia).

Hasta aquí todo va bien: la primera propuesta explicaba el experimento Michelson–Morley, y la segunda propuesta justificaba las anomalías que señalaba Poincaré. Pero es bastante evidente que las dos propuestas de Einstein parecen contradictorias. ¿Cómo es posible que no exista el movimiento absoluto si la velocidad de la luz es siempre la misma?

Einstein estaba en lo cierto. Había una manera de demostrar que ambas propuestas podían ser ciertas. Esto significaría aceptar que tanto el espacio como el tiempo eran relativos. Pero, ¿cómo era posible que así fuera? Poincaré había demostrado que el espacio era relativo; y oculto tras su ejemplo de un universo mil veces más grande estaba implícito que el tiempo también era relativo. Einstein lo confirmó y confrontó sus impresionantes implicaciones.

Según Einstein: «Todas nuestras apreciaciones en las que el tiempo desempeña un papel son siempre opiniones sobre acontecimientos simultáneos. Por ejemplo, cuando digo: El tren llega hoy a las siete en punto. Lo que en realidad quiero decir es algo así como: La manilla de mi reloj apuntando al siete y la llegada del tren son acontecimientos simultáneos». Einstein sugirió la posibilidad de vencer esas dificultades simplemente sustituyendo «la posición de la manilla de mi reloj» por la palabra «tiempo». Y esto es adecuado cuando hablamos sólo del lugar en el que está situado el reloj. «Pero no vale cuando tratamos de conectar en el tiempo un número de acontecimientos que ocurren en distintos lugares», explicó Einstein.

«Tampoco es satisfactorio para conectar los tiempos de acontecimientos que ocurren en lugares alejados del reloj.»

Einstein siempre prefirió la teoría al experimento. También prefería el razonamiento a las matemáticas. La primera parte de su trabajo sobre la teoría especial de la relatividad está punto menos que desprovista de fórmulas matemáticas, y éstas, de ningún modo, conforman el grueso de las demás partes. Uno de los puntos fuertes de Einstein residía en su capacidad para visualizar del modo más simple situaciones matemáticas complejas. Por ejemplo, sus reflexiones sobre la relatividad se habían estimulado un día cuando viajaba en tranvía al trabajo, mientras contemplaba distraídamente la calle al pie de la famosa Torre del Reloj medieval de Berna. ¿Qué habría visto si el tranvía hubiera viajado a la velocidad de la luz? Según la teoría especial de la relatividad que estaba desarrollando, parecería que el reloj de la torre se había parado. Mientras tanto, el reloj de su bolsillo continuaría avanzando (aunque en realidad se moviera más despacio. Una consecuencia de la teoría de Einstein era que a medida que la velocidad se acercaba a la velocidad de la luz, el tiempo iba más despacio y se detenía por completo cuando alcanzaba la velocidad de la luz). Cuando las velocidades alcanzaban la velocidad de la luz, el tiempo difería según el observador.

No obstante, esto plantea una objeción obvia: ¿qué ocurre con el tiempo «real»? La Torre del Reloj y su reloj deberían coincidir obviamente en tiempo «real». Pero tal y como ya había argumentado Einstein, el tiempo «real» no existe. El tiempo absoluto no existe. El tiempo sólo depende del punto desde el que se mide. No se puede medir de otro modo.

Esto da pie a algunas posibilidades inquietantes. Tomemos la «Paradoja de los Gemelos». Un gemelo se queda en casa mientras el otro emprende un largo viaje espacial a una velocidad cercana a la de la luz. Según Einstein, cuando el gemelo astronauta regrese será más joven que su hermano (su tiempo habrá disminuido a lo largo de su viaje, mientras que el gemelo estacionario habrá continuado con su tiempo «normal»).

Tras concluir su trabajo sobre la teoría especial de la relatividad, Einstein comenzó a resolver sus implicaciones matemáticas. Éstas indicaban algunos resultados aún más sorprendentes, en especial cuando el principio de la relatividad se aplicaba a

las ecuaciones que Maxwell había elaborado para su teoría electromagnética de la luz. Einstein demostró que cuando una partícula viaja a una velocidad cercana a la de la luz, su masa aumenta y requiere cantidades de energía cada vez mayores para propulsarla.

Hacia 1906 Einstein se percató de algo crucial que, además de profundizar en la naturaleza de los cuantos, apuntaba a un descubrimiento aún más sensacional. Al parecer, los cuantos de luz eran partículas simples que, de algún modo, se habían librado de su masa y se habían convertido en una forma de energía que viajaba a la velocidad de la luz. La masa, la energía y la velocidad de la luz, de algún modo, estaban vinculadas.

Pero ahora Einstein iba a pagar la arrogancia de sus años de estudiante: sencillamente no podía abrirse paso entre el proceso matemático que requería el desarrollo de su teoría. Le llevó casi dos años —en los que realizó grandes progresos obstaculizados por falta de técnica y meteduras de pata ocasionales— desarrollar su famosa fórmula que encerraba el vínculo que él sabía que existía. Según ésta: $e = mc^2$, en la que e es energía, m es masa y c es la velocidad de la luz. Esta fórmula estremeció literalmente la Tierra. Implicaba que la materia es energía solidificada y que si, de algún modo, la masa se podía convertir en energía, una cantidad diminuta de masa liberaría una cantidad de energía prodigiosa. La velocidad de la luz es de aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo. Así, una unidad de masa liberará 90.000.000.000 unidades de energía.

Esto encerraba la clave de varias cuestiones que habían preocupado a los científicos durante algún tiempo. Por ejemplo, parecía explicar cómo era posible que el Sol y las estrellas hubieran podido radiar unas cantidades tan enormes de calor y luz durante millones de años. De algún modo, su materia se estaba transformando en energía. Pero, ¿cómo? Los experimentos que llevó a cabo la física polacofrancesa Marie Curie en 1898 habían revelado que una onza (28,35 gramos) de radio despedía 4.000 calorías por hora indefinidamente. El radio era un elemento radiactivo; era inestable y se desintegraba para convertirse en radón, liberando energía en el proceso. La fórmula de Einstein explicaba qué era lo que ocurría; Madame Curie indicó cómo ocurría. Pero hubo que esperar 25 años para que la fórmula de Einstein pudiera verificarse. Einstein creyó que su famosa fórmula era el

descubrimiento más importante que se derivaba de su teoría especial de la relatividad, pero en aquellos tempranos días no tenía la menor idea de su aplicación.

Regresemos a 1905. Einstein finalizó su trabajo sobre la teoría especial de la relatividad y lo envió a *Annalen der Physik*, revista en la que se publicó el 26 de septiembre de 1905. Como cualquier joven que acaba de presentar lo que considera la labor de un genio consumado, se sentó a esperar el aplauso del mundo entero. Pero tales panegíricos son escasos y se dan en grandes intervalos, al mismo ritmo que los genios genuinos, aunque, lamentablemente, ambos coincidan raras veces. Y ésta no iba a ser una excepción.

Durante varios meses no ocurrió nada. ¿Había cometido algún simple error de cálculo? ¿Pero estaba completamente seguro de que no había cometido algún error en sus tres trabajos más importantes? Tras el final del verano llegó el otoño, y tras el otoño llegó el invierno. Una vez más, Einstein empezó a cortar leña y a cargar sacos de carbón para alimentar la humeante estufa. Después, en Año Nuevo, recibió una carta de Max Planck en la que éste le pedía aclaraciones sobre algunos cálculos de su trabajo sobre la relatividad. Einstein supo enseguida que uno de los más destacados científicos de la época había reconocido la importancia de su trabajo. Con toda seguridad, a éste le seguirían otros reconocimientos. Sin embargo, y a pesar de esto, llegarían lentamente. Las ideas de Einstein eran tan revolucionarias y tan contrarias al sentido común que muchos no se las tomaron en serio (o simplemente no eran capaces de entenderlas). No era fácil para los físicos aceptar el final de la física tal cual la habían conocido.

Mientras tanto, Einstein continuaba trabajando en la Oficina de Patentes y, ocasionalmente, paraba en una cafetería a discutir sus ideas con Besso frente a un café. La cafetería resultó ser un lugar predilecto frecuentado por el cuerpo facultativo de ciencias de la universidad, pero los académicos de las otras mesas seguían sin reconocer los méritos de Einstein, quien por entonces trataba de expandir su teoría de la relatividad para explicar la gravitación. Esta tarea era casi tan compleja y ambiciosa como el propio concepto de relatividad, pero concernía a un asunto sobre el que había pensado mucho y con ahínco desde hacía varios años.

Uno de los primeros en reconocer el trabajo de Einstein fue Minkowski, su antiguo profesor de matemáticas en la Politécnica de Zurich (el que le había llamado perro vago). De hecho, el trabajo de Einstein estaba empezando a pagar su falta de aplicación matemática durante sus años de estudiante. La teoría especial de la relatividad dejaba muchos cabos sueltos y muchos caminos por explorar, varios de los cuales eran más matemáticos que físicos.

Para empezar, quedó claro que la geometría tridimensional ya no podía describir el universo. Se requería una nueva forma de geometría. En 1907, Minkowski escribió un libro llamado Espacio y Tiempo en el que constataba que el tiempo debía tratarse como una cuarta dimensión. Demostró que no era posible considerar la existencia del espacio y del tiempo por separado. El tiempo no existía aparte del espacio al que se refería; del mismo modo, el espacio no existía más que en el tiempo. Había que contemplar el universo como algo que se basaba en la fusión «espacio-tiempo». Minkowski también elaboró las matemáticas que respaldaban esta idea.

Todo esto sirvió tanto de inspiración como de acicate para Einstein. Otros estaban invadiendo su territorio. Pero los cálculos de Minkowski le proporcionaron una capacidad de análisis profunda. De pronto vio cómo podía incorporar la gravitación al concepto de relatividad. Newton había considerado que la gravedad era la fuerza que atraía unos objetos hacia otros. Pero, ¿qué ocurría si, en su lugar, los objetos se movían dentro de un campo gravitatorio? Entonces la materia podría hacer que el espacio se curvara. Einstein consideró esta inspiración como «el pensamiento más acertado de mi vida». La teoría general de la relatividad había nacido, a pesar de que habría que esperar más de seis años para que este trabajo se completara.

Por fin Einstein se las arregló para asegurarse un puesto académico en la universidad. Pero incluso en ese momento necesitó la ayuda de sus amistades. Adler, el idealista político y antiguo compañero de clase de Einstein, fue nombrado profesor asociado en la Universidad de Zúrich. Pero cuando Adler descubrió que Einstein también había solicitado el puesto, dimitió de un modo desinteresado y comentó: «Si pueden conseguir a un hombre como Einstein para la universidad, es absurdo que me nombren a mí».

En 1909 los Einstein se trasladaron de nuevo a Zúrich, donde al año siguiente nació su segundo hijo, Edouard. Mileva se sentía más cómoda de vuelta en la ciudad en la

que había sido estudiante, y Einstein tomó posesión de su puesto en el departamento. Al principio, los estudiantes estaban perplejos ante la visión de este desaliñado joven que llevaba los pantalones demasiado cortos y el pelo demasiado largo, que permanecía de pie tímidamente al lado de la tarima y que sostenía una tarjeta de visita arrugada, a saber, sus apuntes, de los cuales pronto hizo caso omiso optando por seguir el hilo de su pensamiento. Después invitaba a sus alumnos a continuar el debate en el Café Terasse a la vuelta de la esquina.

En 1911 le ofrecieron a Einstein el puesto de catedrático titular en la Universidad Alemana de Praga, donde las cosas más bien se habían quedado ancladas en el tiempo. El primer día que llegó a la verja de entrada, el portero creyó que era el electricista que venía a arreglar las luces. Einstein estaba encantado de ganar más dinero, pero Mileva estaba profundamente disgustada por tener que dejar Zúrich. Mileva se metió en su concha y Einstein fingió no darse cuenta y se refugiaba en su trabajo. La reputación de Einstein empezó a extenderse por la comunidad académica y con frecuencia salía a dar conferencias en las que explicaba sus nuevas teorías. Mileva comentó que estaba fuera tanto tiempo que se sorprendía de que la reconociera.

En un viaje para dar una conferencia en Berlín en 1912, volvió a encontrarse con su prima Elsa Lowenthal, a quien había visto por última vez veinte años atrás en Munich. Elsa era cinco años mayor que Einstein: una agradable hausfrau de 38 años, divorciada recientemente, con dos hijas adolescentes. Más que brillante era maternal. Como era corta de vista, para leer los periódicos se los tenía que pegar a la cara. Elsa era una mujer práctica de costumbres provincianas y no sabía nada de ciencias. No era en absoluto el tipo de Einstein —o eso parecía—, pero debió de tocarle la fibra sensible. Empezaron a mantener correspondencia.

Posiblemente a causa de sus relaciones durante la infancia, Einstein se mostró extraordinariamente abierto desde el principio. Le contó a Elsa la típica vieja historia de que su madre nunca le había querido realmente para después añadir que siempre había necesitado alguien a quien amar. Bastante pronto le dijo a Elsa que ahora era ella la que estaba desempeñando ese papel. Al parecer Elsa respondió del mismo modo, pero entonces Einstein empezó a provocar sospechas. En su soledad, Mileva se había convertido en una mujer celosa. Albert y Elsa continuaron

escribiéndose de forma esporádica. Ella le escribía al trabajo y le hizo prometer que destruiría cualquier cosa que recibiera de ella. Puede que Einstein jugara a ser el profesor distraído, pero no se olvidó de quemar las cartas de Elsa.

En 1914, Einstein fue nombrado Director de Física en el Kaiser Wilhem Institute de Berlín. Tenía 35 años y desde el punto de vista académico por fin había triunfado. El Kaiser Wilhem Institute era uno de los centros más destacados del mundo científico y entre varios de sus colegas más distinguidos se encontraba Max Planck. Allí Einstein podía continuar tranquilo con sus investigaciones, y sólo se le requería de vez en cuando para que diera alguna que otra conferencia en la Universidad de Berlín. Para satisfacer los requisitos del Institute obtuvo la ciudadanía alemana.

Mileva odiaba Alemania aún más que Praga. En tres meses había levantado el campamento llevándose consigo a los dos hijos. Al parecer el matrimonio se había hundido irrevocablemente. Einstein no hallaba consuelo por la pérdida de sus hijos. Envío el mobiliario desde Berlín para amueblar el apartamento de Mileva en Zúrich, prometió enviar dinero cada tres meses para mantenerla y se acostumbró a la vida de soltero en su casa vacía. Elsa vivía en el mismo distrito y en ciertas ocasiones iba a comer al apartamento de ella, pero nada más. Él hizo como de costumbre y se enterró en su trabajo con ahínco.

Pero esta vez ocurrió algo de lo que ni siquiera Einstein pudo hacer caso omiso. En agosto de 1914 estalló la Primera Guerra Mundial. Alemania (como el resto de los combatientes en toda Europa) fue víctima de una patriotería frenética: columnas de tropas eran aclamadas por las calles en su marcha hacia el frente, felices sin sospechar la carnicería que les esperaba. Einstein estaba horrorizado. Hasta el Institute estaba involucrado. Algunos de los colegas de Einstein recibieron el encargo de elaborar un gas venenoso eficaz.

Einstein se retiró a su buhardilla vacía para continuar trabajando en su teoría general de la relatividad, a menudo sin salir durante días enteros. Los pocos que le visitaron hablaban de un suelo sin alfombras. No había libros en las estanterías; en cambio, esparcidos por el suelo, había ejemplares de las últimas revistas científicas y muchas hojas de papel llenas de cálculos. El propio Einstein a menudo aparecía en la puerta descalzo y al parecer dormía bajo una manta vieja. Su pelo empezaba a encanecer y fue por entonces cuando empezó a llevar la espectacular melena

despeinada que tanto gustaba a los dibujantes de cómics durante sus últimos años de vida. Alguien que le visitó excepcionalmente le comparó, al describirle, con «un león desgredado y absorto que acaba de recibir un electroshock». Las comidas eran poco frecuentes y de preparación simple: todo cocinado en la misma cacerola. Cuando la hija de Elsa entró un día en su casa, le encontró cocinando un huevo (con la cascara manchada de excrementos de gallina) en la sopa. El efecto en su aparato digestivo era previsible, y doloroso. Y por si fuera poco, estaba el trastorno emocional que le provocaba su trabajo, que le acercó al límite de sus posibilidades. No es sorprendente. El trabajo que le ocupaba durante este período se ha descrito como «la mayor proeza del pensamiento humano sobre la naturaleza, la más extraordinaria combinación de capacidad de análisis filosófico, física intuitiva y destreza matemática».

La anterior teoría especial de la relatividad de Einstein se había aplicado a cuerpos que se mueven unos respecto de otros con un movimiento uniforme. La teoría general de la relatividad se ampliaba para incluir cuerpos que se mueven con un movimiento acelerado relativo, como la gravedad (donde un objeto que cae aumenta en velocidad). Con el fin de demostrarlo, Einstein primero tenía que desechar el clásico concepto de gravedad de Newton como una fuerza que actuaba entre dos cuerpos. En su lugar, él veía la gravedad como un campo energético que emanaba de la propia materia. A mayor cantidad de materia, mayor era el efecto de la energía gravitatoria que éste transmitía.

Puede parecer un asunto menor, pero la diferencia es crucial. Newton había basado todo su universo sobre un concepto erróneo de la gravedad. La idea de la gravedad de Newton como una fuerza significaba que el efecto del Sol en los planetas y el efecto de los planetas en sus lunas eran instantáneos. Pero, tal y como hemos visto, de acuerdo con la teoría especial de la relatividad de Einstein nada viaja más rápido que la velocidad de la luz. Puesto que los planetas viajan a aproximadamente 1/1.000 de la velocidad de la luz, las diferencias entre los cálculos basados en estas ideas contrapuestas eran infinitesimales. Pero diferencias al fin y al cabo: sólo una podía ser cierta. Y el resultado era fundamental: sólo una explicaría el modo en que funciona el universo.

La idea de Einstein encerraba otras implicaciones, aún más asombrosas. Desde 1905, Einstein había ampliado su teoría de la luz y desarrollado el concepto de que ésta debía entenderse compuesta tanto de partículas como de ondas. Pero si la luz estaba formada de partículas, podría verse afectada cuando atravesara un campo gravitatorio. En otras palabras, si la luz atravesaba un campo gravitatorio fuerte era susceptible de curvarse.

Pero todo nuestro concepto de línea recta dependía del paso de la luz. Por ejemplo, la distancia más corta entre dos puntos en este campo curvo no sería una línea recta. Como un avión que recorre en su vuelo la distancia más corta entre Londres y Los Ángeles, dibujaría una línea curva.

De modo similar, todo nuestro concepto de velocidad (y por lo tanto de espacio, y por lo tanto de tiempo) dependía de la velocidad de la luz. Si un rayo de luz se dobla cuando pasa a través de un campo gravitatorio, significa que nada puede pasar más rápido entre dos puntos del rayo curvo que a lo largo del rayo curvo. En otras palabras, no hay una distancia más corta entre dos puntos que la curva. (Esto era lo que significaba espacio curvo.)

En consecuencia, la geometría clásica euclidiana ya no bastaba para describir el universo. Ahí es donde fallaron las matemáticas de Einstein. No podía proponer nada que lo sustituyera. Sin respaldo matemático su teoría era pura conjetura y se podían extraer pocas conclusiones.

Afortunadamente para Einstein, en el siglo XIX, el alemán Georg Riemann había investigado el campo de la geometría no euclidiana. Durante medio siglo, sus estudios matemáticos sobre superficies curvas se habían considerado absolutamente brillantes pero absolutamente inútiles. Riemann había demostrado que en geometría curva era posible trazar un número indeterminado de líneas rectas entre dos puntos. (En definitiva, incluso una línea recta desde Londres a San Francisco pasará por Los Ángeles en el globo terráqueo.)

De modo similar, Riemann demostró que en geometría curva no puede existir una línea recta de longitud infinita. Einstein advirtió que si el espacio era curvo, también lo sería el universo. Una línea recta, finalmente, se encontraría consigo misma de nuevo. El nuevo concepto del universo de Einstein recibió gran ayuda de la idea del espacio-tiempo de su antiguo profesor Minkowski. Esta proporcionaba otro vínculo

entre la teoría especial y la teoría general, y ataba los cabos que había dejado sueltos el efecto de la luz curva en el espacio y el tiempo. El espacio se hacía curvo y, del mismo modo, el tiempo, que no era absoluto, sino que simplemente actuaba como una cuarta dimensión en un continuo espacio-tiempo. (Si la trayectoria de la luz era curva, entonces la trayectoria del tiempo no podía ser una línea recta más rápida, sino que también tenía que ser curva.)

Einstein publicó sus resultados en marzo de 1916 en *Annalen der Physik*, en un artículo titulado «El fundamento de la teoría general de la relatividad». Las sensacionales ideas nuevas de Einstein fueron recibidas con asombro y con cierta perplejidad. Todo eso estaba muy bien, pero no era más que teoría. Afirmaba estar describiendo el universo, pero todo lo que aportaba no eran más que matemáticas y no había pruebas prácticas. Ciertamente es que su teoría parecía explicar una irregularidad diminuta en la órbita de Mercurio que la física de Newton no podía explicar. Pero esto era una prueba práctica difícilmente definitiva para unas afirmaciones tan significativas sobre la naturaleza fundamental del universo.

Einstein propuso una prueba práctica. De acuerdo con su teoría, la luz de las estrellas lejanas debía desviarse cuando pasara a través del fuerte campo gravitatorio del Sol. Por desgracia, esa luz sólo se podría ver durante un eclipse solar, y el próximo no debía llegar hasta 1919. El mundo tendría que esperar para descubrir si formaba parte de un universo curvo o «plano».

Mientras tanto, el mundo creía que tenía cosas mejores que hacer. Para la mayoría, el mes de marzo de 1916 estuvo marcado por la matanza masiva de la Batalla de Verdún. Einstein estaba horrorizado y sus ideas pacifistas se radicalizaron.

Al volver a Suiza de visita demasiado tarde, Einstein se dio cuenta de que su matrimonio con Mileva se había acabado. A su regreso, se lamentó ante la perspectiva de separarse de sus dos hijos. A pesar de todo, siguió adelante con el proceso de divorcio. El efecto en Mileva fue catastrófico y sufrió una depresión nerviosa.

Esta presión, después de su largo período de trabajo intelectual que le exigía una concentración extrema, llevó a Einstein al borde del colapso. Según su médico «al igual que su mente, que no conoce límites, su cuerpo no sigue ninguna norma establecida; permanece despierto hasta que se le ordena ir a la cama; pasará

hambre hasta que le den algo de comer; y después come hasta que le digan que pare». Las condiciones de vida en Berlín en la época de guerra eran malas, y en un momento dado, Einstein perdió algo más de 6 kilos en dos meses. Elsa se lo llevó a su casa para cuidarlo.

La guerra terminó por fin en noviembre de 1918 con la derrota alemana. El Kaiser huyó a Holanda, un gobierno socialista ocupó el poder, a lo que siguió un caos político. Einstein se animó con la toma de poder socialista y estaba convencido de que el militarismo alemán era un asunto del pasado.

Bajo el régimen maternal de Elsa, Einstein se fue recuperando gradualmente de su enfermedad, pero no dio ninguna muestra de querer volver a su apartamento. Empezó a trabajar en su habitación del piso de arriba y en los descansos se le podía oír tocando el violín. A menudo le dejaban la comida detrás de la puerta. Einstein se desentendía de la situación doméstica, y Elsa estaba más que dispuesta a que la situación perdurara. Cuando llegó su divorcio, se le dijo que quizás debía casarse, y al parecer aceptó la propuesta de bastante buena gana. Elsa le cortó el pelo, le vistió con un traje y se casaron en junio de 1919.

En noviembre llegaron unas noticias que iban a cambiar la vida de Einstein para siempre. A principios de año, el astrofísico británico Arthur Eddington había dirigido una expedición a la isla afroportuguesa de Príncipe, en el golfo de Guinea, donde había fotografiado el eclipse solar. Las estrellas que anteriormente no se veían a causa de la radiación solar ahora se podían observar. Las fotos también mostraban que al pasar cerca del Sol, la luz de las estrellas se curvaba. Es decir, que la posición de las estrellas parecía distinta cuando su luz no pasaba cerca del Sol. Las observaciones de Eddington coincidían con las predicciones de Einstein de que el Sol curvaba la luz de las estrellas lejanas. La teoría general de la relatividad se confirmaba: durante varios días Einstein estuvo eufórico.

Pero la reacción de Einstein no fue nada en comparación con la de la prensa mundial. En realidad, pocos sabían lo que era la relatividad (incluso en los círculos científicos), pero todo el mundo entendió que, por lo visto, el universo parecía haber cambiado para siempre. De pronto, el oscuro catedrático de física de Berlín era aclamado como «el mayor genio de la tierra».

El mundo acababa de salir de la catastrófica carnicería de una guerra mundial, que se conoció como «la guerra para acabar con todas las guerras», y había una necesidad general de buenas noticias. Los «grandes hombres» del pasado —jefes militares, hombres de Estado, aristócratas— habían quedado desacreditados. El mundo estaba entrando en una época de populismo («la era del hombre común») que necesitaba encontrar sus propios héroes nuevos. Este proceso había dado comienzo en Norteamérica con el fenómeno de Charlie Chaplin, y ahora Einstein le iba a acompañar. El genio modesto y despistado —que a veces se olvidaba de comer o de ponerse la camisa, que tocaba el violín y que era capaz de garabatear fórmulas en el mantel cuando se le invitaba a cenar era justamente lo que prensa y público estaban esperando. Del mismo modo, la desilusión hacia las antiguas formas religiosas y filosóficas que caracterizó el período de posguerra había dejado un vacío espiritual que muchos trataron de llenar con la relatividad. Había llegado la explicación real de todo.

Einstein se convirtió entonces en una figura pública y viajó por toda Europa dando conferencias para explicar la relatividad. De Europa viajó a Norteamérica, lugar en el que fue recibido con llamativas noticias de teletipo. («El hombre que curva el espacio visita Chicago.») Elsa se aseguraría de que fuera debidamente vestido y aparentaba hacer la vista gorda a su comportamiento coqueto con las damas de sociedad. «Es conmigo con quien se va a casa», insistía ella; sin embargo, había ocasiones en las que su comportamiento le afligía de verdad. Pero este comportamiento era algo más que una simple cuestión de personalidad: se trataba además de una cuestión de principios. Los principios socialistas de Einstein incluían la creencia en la libertad absoluta del individuo. Su actitud bohemia iba más allá de su apariencia.

En 1921 ganó el Premio Nobel y le envió los 32.000 dólares del premio a Mileva. Se lo había prometido en secreto cuando se divorciaron, unos años antes de que se reconociera su trabajo. Einstein nunca había dudado de la importancia de sus hallazgos o de que un día le reconocerían y premiarían su trabajo.

Einstein era perfectamente consciente del aspecto ridículo que acompañaría al éxito. Exageró su excentricidad (que no era una tarea difícil) como una forma de autoprotección, pero, por lo demás, insistió en sacar partido a su fama. Militó con

ahínco y durante mucho tiempo en favor del desarme internacional, dio todo su apoyo al sionismo e hizo todo lo que pudo para detenerla creciente corriente de antisemitismo en Alemania.

En medio de sus ajetreados viajes de campaña para dar conferencias, Einstein trató de proseguir su trabajo. A pesar de que había logrado con éxito redefinir la gravedad y vincularla a la relatividad, todavía tenía que atar algunos cabos sueltos. Einstein deseaba establecer una relación matemática entre las fuerzas electromagnéticas (como la luz) y la gravedad. Esto sentaría las bases de una ley fundamental sobre el comportamiento general de todo, desde los electrones más pequeños hasta las estrellas más grandes. Einstein trataba de descubrir una fórmula aún más fundamental que $e = mc^2$. Deseaba relacionar todas las propiedades de la materia en una teoría del campo unificado. Partiendo de esta teoría absoluta continuaría hasta elaborar la teoría cuántica. De este modo podría vencer el elemento esencialmente ambiguo de la teoría cuántica, el cual desafiaba a la lógica tratando a la luz como si estuviera compuesta de ondas y de partículas al mismo tiempo. Tal y como insistió en la famosa carta dirigida al teórico cuántico Max Born en 1926: «Estoy convencido de que Dios no juega a los dados». Pero Nils Bohr, que estaba rompiéndose el cerebro tratando de desarrollar la teoría cuántica en Copenhague, estaba seguro de que la creencia de Einstein en un universo ideado para que funcionara con precisión era errónea. De existir uno, el principio absoluto sería la teoría cuántica.

Los trabajos publicados de Einstein siempre habían sido recibidos con escepticismo; pero, a partir de ese momento, el escepticismo partía de aquellos que le habían apoyado previamente. Puede que hubiera transformado el mundo, pero ahora parecía que le estuvieran dejando de lado. Einstein era un hombre ambicioso, y esto le causó algún sufrimiento. Detrás de la fachada de la fama, Einstein pasó por malos momentos. Su hijo Edouard sufrió una crisis mental. Anteriormente Edouard había venerado a su padre en la distancia, pero ahora ese sentimiento se convirtió en odio por abandonarle a él y a Mileva. Después, los nazis tomaron el poder en Alemania y ofrecieron una recompensa de 20.000 marcos por asesinarle. «No sabía que valiera tanto» —comentó Einstein— pero se vio obligado a huir a Norteamérica.

Einstein aceptó un puesto de trabajo permanente en el Institute for Advanced Study en Princeton, que se había fundado recientemente para dedicarse a la investigación pura. Cuando llegó a Norteamérica, de pronto parecía un anciano. A pesar de que sólo tenía 54 años, la aureola de su cabello alborotado era completamente blanca, y parecía que su rostro fuera de piedra.

Desde entonces, Einstein establecería una rutina que permaneció en gran parte invariable hasta el final de su vida. Cada mañana salía de su casa del 112 de Mercer Street y se disponía a dar el paseo de veinte minutos hasta el Institute of Advanced Studies, que pronto empezó a atraer a algunas de las mentes más importantes del mundo científico.

Éste era el Einstein que se convirtió en una leyenda viva, la amable figura del genio excéntrico tan querida por la prensa. Pero, en cierta manera, ahora era una figura triste. Desde hacía mucho tiempo, Einstein se había separado de sus pares. La teoría cuántica estaba ofreciendo unos resultados espectaculares, y muchos se sorprendieron con la insistencia de Einstein en buscar una teoría del campo unificado y pensaron que se trataba de una completa pérdida de tiempo por parte de una mente suprema. Tal y como señaló su amigo Max Born: «Muchos consideramos que es una tragedia, tanto para él, que anda a tientas en solitario, como para nosotros, que echamos de menos a nuestro guía y abanderado». Einstein había desempeñado una labor fundamental en el desarrollo de la teoría cuántica; sin embargo, ahora se negaba a creer en sus implicaciones.

En 1936 Elsa murió y él se encerró aún más en su caparazón y trabajaba de una forma obsesiva en sus cálculos aparentemente fútiles.

Se dice que Einstein logró dos proezas notables durante las últimas décadas de su vida. La primera fue sublime, tanto por el hecho de que la llevara a cabo como por el horror que implicaba. En 1939, el físico danés Nils Bohr visitó a Einstein en Princeton y le confió unas noticias alarmantes: la fórmula $E = mc^2$ de Einstein se había confirmado de un modo dramático. Unos científicos alemanes habían dividido el átomo y pronto podrían construir una bomba de poder insospechado. Einstein informó al presidente Roosevelt por escrito. Sin que Einstein lo supiera, Roosevelt lanzó en secreto el Proyecto Manhattan para fabricar la primera bomba atómica. En 1945, cuando Einstein vio los resultados de lo que había hecho, instigó una

campana mundial para que se prohibieran las armas nucleares. A causa de los problemas que creó, el FBI le investigó.

Por contraste, el segundo hecho notable de las últimas décadas de su vida tenía algo de ridículo. Entonces Einstein era la figura judía más famosa del mundo, y en 1952 le ofrecieron el puesto de presidente del recién creado estado de Israel. No podía dejarse arrastrar por su propio mito y lo rechazó de buena gana.

Mientras tanto Einstein había continuado trabajando en su teoría del campo unificado. Insistía en realizar hercúleos esfuerzos a pesar de que su salud empezaba a debilitarse. Uno a uno, se vio obligado a renunciar a sus pasatiempos favoritos. Los dolores crónicos de estómago (en parte legados de los singulares hábitos en su dieta de épocas anteriores) le obligaron a dejar de fumar su querida pipa. Finalmente, incluso dejó de lado su preciado violín. Pero éstas nunca fueron preocupaciones fundamentales. Si algo le preocupaba, esta abstinencia servía para dejarle más tiempo para concentrarse en su objetivo final.

En 1950 Einstein publicó una nueva versión de su teoría del campo unificado. Sus compañeros científicos la recibieron con un incómodo silencio. Por entonces Einstein tenía 71 años, pero había envejecido (al menos en apariencia) mucho más. Confesó que a menudo se sentía como un extraño en el mundo, pero estaba lo bastante cómodo como para sentirse profundamente desilusionado. La continua campana del FBI en su contra, y su incapacidad para resolver la teoría del campo unificado le estaban sobrepasando. Cada vez estaba más cansado. En la primavera de 1955, a la edad de 76 años, murió mientras dormía en el Hospital de Princeton. Junto a su cama había una página de cálculos inacabados relativos a su teoría del campo unificado.

Algunos puntos clave.

Extracto del trabajo de 1905 de Einstein sobre la relatividad:

«La teoría que se desarrollará está basada —al igual que toda la electrodinámica— en la cinemática del cuerpo rígido. Esto se debe a que las afirmaciones de esta teoría atañen a las relaciones entre los cuerpos rígidos (sistemas de coordenadas), relojes y procesos electromagnéticos. La falta de atención a este hecho es la causa

de las actuales dificultades a las que se enfrenta la electrodinámica de los cuerpos en movimiento.

1 Parte Cinemática Pt 1 Definición de Simultaneidad.

Tomemos un sistema de coordenadas en el que las ecuaciones de la mecánica newtoniana sean válidas (es decir, hasta una primera aproximación). Con el fin de ser precisos y distinguir este sistema de coordenadas de otros, lo llamaremos sistema estacionario.

Si un punto material está en reposo en relación con este sistema de coordenadas, su posición se puede definir respecto al sistema mediante una medición precisa y la geometría euclidiana, y se puede expresar en coordenadas cartesianas.

Si deseamos describir el movimiento de un punto material, le damos los valores de sus coordenadas como funciones del tiempo. Sin embargo, debemos tener presente que una descripción matemática de este tipo no tiene significado físico a menos que tengamos bastante claro lo que entendemos por tiempo. Debemos tener en cuenta que todos nuestros argumentos relativos al tiempo se refieren siempre a acontecimientos simultáneos. Por ejemplo, si digo: 'El tren llega hoy a las siete en punto', lo que en realidad quiero decir es algo como: 'La manilla de mi reloj apuntando al siete y la llegada del tren son acontecimientos simultáneos'.»

La relatividad en pocas palabras:

Sobre vastas distancias, el tiempo y el espacio se hacen relativos. Sólo la velocidad de la luz es constante.

Definición de la relatividad de Einstein para el lego:

«Cuando uno corteja a una chica guapa, una hora parece un segundo. Cuando uno se sienta sobre carbón ardiente, un segundo parece una hora. Eso es la relatividad.»

La fórmula que derivó en la bomba: $e = mc^2$ en la que e es energía desprendida, m es masa y c es la velocidad de la luz.

En los comienzos:

Como consecuencia de la teoría de Einstein, los físicos han podido describir la historia del universo hasta una fracción de segundo después del Big Bang. Esa fracción de segundo se ha reducido ahora a un punto decimal, cuarenta y dos ceros y un uno, o bien: Lo que ocurrió en el preciso instante de la creación se desconoce, al menos por la ciencia.

Algunas citas clave:

- «Estoy convencido de que Dios no juega a los dados.»
- «La energía que desprende el átomo ha cambiado todo salvo nuestros modos de pensar y, de esta forma, nos encaminamos hacia una catástrofe sin precedentes.»
- «Nunca pienso en el futuro pues pronto llega.»
- «La política es para el presente pero una ecuación es para la eternidad.»
- «Si A es un éxito en la vida, entonces, $A = x + y + z$. El trabajo es x, y es diversión y z es mantener la boca cerrada.»
- «Si se prueba que mi teoría de la relatividad es correcta, Alemania me reclamará como alemán y Francia declarará que soy ciudadano del mundo. Si mi teoría resulta ser errónea, Francia afirmará que soy alemán y Alemania declarará que soy judío.»
- «Cuando las leyes de la matemática se refieren a la realidad, no son ciertas, y cuando son ciertas, no se refieren a la realidad.»

Comentarios sobre Einstein:

- «La genialidad de Einstein nos lleva a Hiroshima.»

Pablo Picasso

- «Einstein entiende de psicología lo que yo de física.»

Sigmund Freud

- «Completamente chiflado.»

J. Robert Oppenheimer

Cronología

Cronología de la vida de Einstein

1879 Nace en Ulm, Alemania.

1894 La familia se traslada a Italia y deja a Albert en Munich, Alemania.

1895 Se traslada a Suiza.

1900 Se gradúa en la Politécnica de Zúrich. Le conceden la ciudadanía suiza.

1903 Se casa con Mileva Maric.

1905 Publica tres trabajos innovadores, entre los que se encuentra la teoría especial de la relatividad.

1909 Dimite de su cargo en la Oficina de Patentes en Berna.

1913 Le nombran director de física en el Kaiser Wilhelm Institute en Berlín.

1916 Publica un trabajo sobre la teoría general de la relatividad.

1919 Se divorcia de Mileva y se casa con su prima Elsa Lowenthal.

1920 La confirmación de la teoría de la relatividad le proporciona fama mundial.

1921 Gana el Premio Nobel de Física.

1929 Publica la primera versión de la teoría del campo unificado.

1933 Emigra a Estados Unidos tras recibir amenazas de muerte de los nazis. Acepta un puesto de trabajo a tiempo completo en el Institute for Advanced Study en Princeton.

1939 Se entera de que han dividido el átomo y avisa al presidente Roosevelt.

1940 Le conceden la nacionalidad norteamericana.

1946 Le tildan de «compañero de viaje comunista» por su postura antinuclear. 1950 McCarthy le denuncia.

1955 Muere en Princeton a los 76 años.

Cronología de la época

1882 Muerte de Darwin.

1889 Se erige la Torre Eiffel en París.

1900 Freud publica La interpretación de los sueños.

1903 Curie recibe el Premio Nobel por el descubrimiento de la radiactividad.

1907–14 La era del cubismo.

1912 Hundimiento del Titanic.

1913 La Consagración de la Primavera de Stravinsky causa sensación en París.

1914–18 Primera Guerra Mundial.

1917 Revolución bolchevique en Rusia.

1922 Publicación del Ulises de James Joyce.

1929 La Quiebra de Wall Street anuncia una era de depresión.

1933 Hitler sube al poder en Alemania.

1939–45 Segunda Guerra Mundial.

1945 Se lanza la bomba atómica en Hiroshima. Se funda la Organización de Naciones Unidas.

1950 Estalla la Guerra de Corea.

Otras lecturas recomendadas

Bernstein, Jeremy: Einstein: el hombre y su obra (Aravaca, McGraw–Hill, 1992); una buena relación de sus ideas.

Brian, Denis: Einstein: a life (Wiley, 1996); la última biografía, que proporciona detalles desconocidos referentes a Mileva.

Clark, Ronald W: Einstein: the life and times (Hodder, 1988); la clásica biografía completa.

Einstein, Albert: Sobre la teoría de la relatividad especial y general (Madrid, Alianza, 1996); una introducción divulgativa del propio Einstein.

Einstein, Albert: El significado de la relatividad (Barcelona, Planeta De Agostini, 1993); cuatro conferencias.

Michelmore, Peter: Einstein, perfil de un hombre (Cerdanyola, Labor, 1973); un retrato anecdótico del Einstein hombre.