

José Altschuler

**VIDA Y MILAGROS DE ALBERT EINSTEIN
PARA CURIOSOS**



Ilustración de cubierta por Juan David

© José B. Altshuler Gutwert, 2021

El autor (n. 1929) es Ingeniero Electricista graduado de la Universidad de La Habana, DrCs y Académico de Honor de la Academia de Ciencias de Cuba. Deja aquí constancia de su agradecimiento al DrC Daryel Manreza Paret, Profesor de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, y al DrCs Hugo Pérez Rojas, Académico de Mérito de la Academia de Ciencias de Cuba, por las valiosas observaciones y sugerencias aportadas a la versión original del presente texto.

ÍNDICE

DE PASO POR LA HABANA	1
REPERCUSIÓN DE UN ECLIPSE	3
PRIMEROS PASOS	7
EL MEMORABLE AÑO 1905: LOS CUANTOS DE RADIACIÓN	9
EL MEMORABLE AÑO 1905: LA RELATIVIDAD ESPECIAL	14
EL AÑO 1907: $E = mc^2$ Y LA GRAVITACIÓN	22
UN NUEVO MIEMBRO DE LA ACADEMIA	26
LA RELATIVIDAD GENERAL	31
FAMA MUNDIAL	43
EL ÁTOMO INDETERMINADO	51
PRINCETON Y LOS ÚLTIMOS PASOS	60
REFERENCIAS	70

DE PASO POR LA HABANA

Al amanecer del 19 de diciembre de 1930, hizo escala en la ciudad de La Habana el vapor BELGENLAND, en ruta de Europa hacia Pasadena, California, a través del Canal de Panamá. Para dar la bienvenida a Albert Einstein, el científico de fama mundial que venía a bordo, llegaron al muelle representantes de la ACADEMIA DE CIENCIAS MÉDICAS, FÍSICAS Y NATURALES DE LA HABANA, de la SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE CUBA, de la SOCIEDAD CUBANA DE INGENIEROS y del OBSERVATORIO NACIONAL, entre otros.



Placa conmemorativa de la visita de Einstein a la ACADEMIA DE CIENCIAS MÉDICAS, FÍSICAS Y NATURALES DE LA HABANA, el 19 DIC 1930, con una caricatura suya dedicada por él "al público de Cuba".

Cuando el Profesor Einstein, Premio Nobel de Física de 1921, mundialmente famoso por su *teoría de la relatividad*, pisó tierra en compañía de su esposa,

amistades y colaboradores acompañantes, manifestó su deseo de conocer lo más posible la ciudad y sus alrededores durante las pocas horas que iba a estar en el país, pues el barco habría de zarpar al día siguiente. Se sucedieron varios actos de bienvenida y homenaje al ilustre viajero –que fueron ampliamente divulgados por la prensa local– así como visitas a diversos lugares de interés. Al día siguiente, empero, según se recoge en las páginas de la *Revista de la Sociedad Geográfica de Cuba*, a punto de bajar de nuevo a tierra,

... el distinguido visitante insistió en recorrer "los barrios más pobres, pues habiendo visitado la víspera los parques, los clubs, las residencias de la gente acomodada, tenían ahora empeño en ver todo lo contrario" [... Se complació su deseo de visitar los hogares más humildes] y se condujo al grupo "al Mercado Único, a las tiendas más modestas de la calzada del Monte y a los barrios típicos de la pobreza cubana, que sus moradores [habían] bautizado con los extraños apelativos de 'Pan con Timba' y 'Llega y Pon'." [1]

Einstein había emprendido aquel viaje con objeto de participar en una conferencia científica que iba a celebrarse en el INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE CALIFORNIA, invitado por el director de la institución, Robert Millikan, a quien, por cierto, le había sido otorgado el Premio Nobel de Física en 1923, entre otras cosas, por haber confirmado experimentalmente, en 1915, la validez de las

fórmulas relativas al efecto fotoeléctrico que Einstein había obtenido al comienzo de su carrera científica. Significativamente, otro de los participantes era Albert Michelson, Premio Nobel de Física de 1907, cuyos experimentos de alta precisión, relacionados con la propagación de la luz, habían tenido mucho que ver con el origen de la *teoría de la relatividad*.

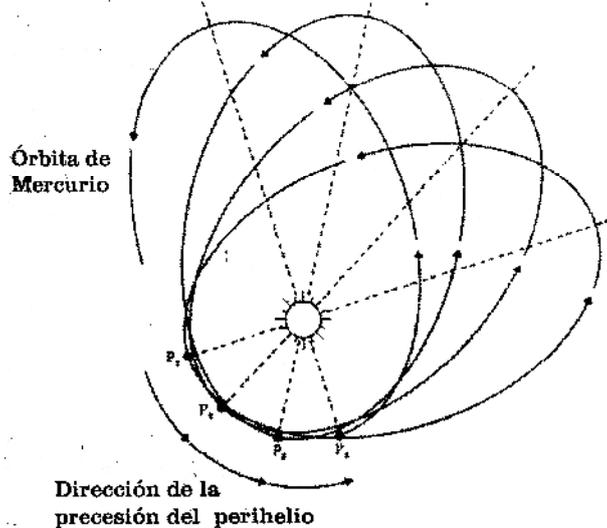
REPERCUSIÓN DE UN ECLIPSE

En la historia de la humanidad, pocos hombres llegaron a cautivar tan completamente la imaginación de sus contemporáneos como Albert Einstein, lo cual no deja de ser bastante extraño, por tratarse de un físico teórico. La popularidad internacional le había llegado súbitamente a finales del año 1919, asociada a una noticia que le pasó de inmediato en una tarjeta postal, a la autora de sus días, que se hallaba en Suiza: "Querida madre, –escribió– hay buenas noticias hoy. H.A. Lorentz me ha teleografiado que las expediciones británicas han demostrado la realidad de la desviación de la luz cerca del Sol..."

Poco después, el 6 de noviembre, asistía Einstein en Londres, como invitado de honor, a una histórica reunión conjunta de la ROYAL SOCIETY y la ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY para informar sobre la confirmación de las predicciones del sabio. J. J. Thomson, descubridor del electrón en 1897 y Premio Nobel, tomó la palabra para proclamar la obra einsteiniana "uno de los más

grandes logros –quizá el más grande– en la historia del pensamiento humano."

En efecto, en 1915 Einstein había anunciado a la ACADEMIA DE CIENCIAS PRUSIANA su nueva teoría –la *teoría general de la relatividad*– según la cual, la gravitación universal había de considerarse no como una fuerza, sino como una *propiedad geométrica del continuo espacio tiempo*. A partir de esta idea, Einstein abordó el problema del movimiento *en roseta* en torno al Sol del planeta Mercurio (atribuido, principalmente, a la perturbación gravitatoria de Venus, la Tierra y Júpiter), y lo



Movimiento en roseta del planeta Mercurio en torno al Sol y precesión de su perihelio (P).

hizo exitosamente, por cuanto el resultado de su cálculo de la velocidad de rotación del eje mayor de la órbita del planeta en torno al Sol coincidía con la observada astronómicamente, mientras que la calculada por vía newtoniana resultaba menor en 43 segundos de arco por siglo, según calculó en 1880 el astrónomo Simon Newcomb. Se trataba de algo difícilmente explicable hasta entonces, al extremo de que, en 1845, el astrónomo Le Verrier había tratado de justificar la discrepancia (algo menor) calculada por entonces postulando la existencia de un planeta desconocido entre Mercurio y el Sol.

Refiriéndose a aquel resultado de sus esfuerzos de entonces, Einstein escribió:

A la luz del conocimiento finalmente alcanzado, el feliz logro parece casi evidente, y cualquier estudiante inteligente puede comprenderlo sin gran dificultad. Pero en cuanto a los años de ansiosa búsqueda en la oscuridad, con su intenso anhelo, sus alternancias de seguridad y desaliento, y la salida final de la luz, eso solo pueden entenderlo aquellos que lo han experimentado por sí mismos. ^[10:124]

A lo que añadió en enero de 1916 –en carta a su gran amigo Paul Ehrenfest– que había caído en éxtasis durante varios días al comprobar que la versión de la teoría general de la relatividad en que estaba trabajando daba el resultado correcto para el movimiento de Mercurio.

Otras dos consecuencias decisivas de la nueva teoría eran el llamado *corrimiento hacia el rojo de las rayas*

espectrales, y la curvatura de los rayos luminosos, ambas a causa de la gravitación. Tan seguro estaba el sabio de sus intuiciones y razonamientos que declaraba terminantemente al referirse a aquellos nuevos efectos que nadie salvo él había previsto: "No dudo de que estas deducciones de la teoría también serán confirmadas."

Pero en 1916 aún no se sabía nada del asunto a ciencia cierta y Einstein ansiaba poner a prueba sus previsiones. Como la Guerra Mundial dificultaba la comunicación directa entre los científicos de diversos países, por medio de un colega holandés logró hacer llegar al astrónomo Arthur Eddington, director del OBSERVATORIO DE CAMBRIDGE, Inglaterra, un trabajo donde se explicaba en detalle su teoría general de la relatividad. Eddington quedó cautivado por la belleza intrínseca de aquellas ideas y se sintió fuertemente motivado para tratar de comprobarlas durante el eclipse total de sol que se produciría el 29 de mayo de 1919 e iba a ser visible en el pueblo brasileño de Sobral y en la pequeña isla de Príncipe, muy cerca de la costa occidental del continente africano. Los planes comenzaron a prepararse en plena guerra, continuaron después de la terminación de esta, a fines de 1918, y culminaron con las observaciones que sendas expediciones británicas hicieron del eclipse, las cuales confirmaron las predicciones de Einstein y le dieron de inmediato tremenda fama mundial, como detallaremos más adelante.

PRIMEROS PASOS

Albert Einstein había nacido en la ciudad alemana de Ulm, en el seno de una familia judía de clase media acomodada, el 14 de marzo de 1879, año en el cual –por curiosa coincidencia– unos ocho meses después, moriría el escocés James Clerk Maxwell, considerado generalmente el más grande físico teórico del siglo XIX, cuya famosa *teoría electromagnética*, iba a constituir, años más tarde, el punto de partida de la *teoría especial* (o *restringida*) de la *relatividad* einsteiniana.

En esencia, la biografía de Albert Einstein puede resumirse como sigue.

Comienza preocupando a sus padres porque, de muy niño, tarda demasiado en aprender a hablar. A los cuatro o cinco años de edad le regalan una brújula, artefacto cuyo funcionamiento tanto le maravilla, que le deja una impresión indeleble. Excelente alumno de primaria y buen alumno de secundaria, particularmente en matemática y física, materias que amplía por sí mismo bastante más allá de las exigencias del programa. De los seis a los catorce años, recibe clases de violín. Lee ávidamente libros de popularización científica. A los doce años, un tío ingeniero le regala un texto de geometría, que despierta extraordinario interés en el muchacho: Albert llena los márgenes de notas que demuestran un intelecto y un sentido crítico nada comunes. A los trece años, comienza a estudiar por su cuenta matemáticas superiores, a la vez que, por recomendación de un amigo de la

familia, aborda sin mayores dificultades las obras filosóficas de Kant. Estas lecturas le llevan a abandonar las creencias religiosas del hogar. Luego de un fracaso comercial, el padre decide probar fortuna estableciéndose en Italia, cerca de Milán, al frente de un negocio de equipo e instalaciones eléctricos. Albert continúa sus estudios en Munich, aunque aborrece profundamente los métodos memorísticos y la mentalidad militarista de la escuela. Por esta época visita Italia. A los dieciséis años, marcha a Suiza y se presenta a exámenes de ingreso en el POLITÉCNICO DE ZURICH. Aunque realiza una brillante presentación en física y matemática, no es aprobado por insuficiencia en las asignaturas de tipo memorístico. Pero finalmente, en 1896, logra ingresar al POLITÉCNICO, con miras a graduarse como profesor de matemática y ciencias naturales.

Llega a la conclusión de que su verdadero interés no es la matemática, sino la física. Estudia profundamente la teoría electromagnética de Maxwell, que no se explica en los cursos regulares. Gracias a las notas de clase de un amigo, aprueba sin dificultad los exámenes finales. Se gradúa en 1900. Al año siguiente, toma la ciudadanía suiza y publica su primer trabajo científico (sobre capilaridad) en los *Annalen der Physik*, importante revista científica alemana. Envía copia de su artículo a algunos hombres de ciencia de relieve, en la esperanza de conseguir empleo; pero sin resultado. Da clases particulares y también como maestro sustituto de matemática.

En 1901 concluye su segundo trabajo de investigación, esta vez sobre termodinámica, y lo envía a la UNIVERSIDAD DE ZURICH, confiando en que le sirva para obtener el grado de doctor, pero el trabajo no es aceptado como base para su tesis de grado. Lo remite entonces a *Annalen der Physik* y se publica allí, al igual que sus trabajos de investigación tercero y cuarto, concluidos en 1903, y también un quinto, aceptado para publicación en 1904. Todos estos trabajos, que versan sobre termodinámica, cubren –sin saberlo su autor– un terreno en buena medida trabajado anterior o simultáneamente por Ludwig Boltzmann y Willard Gibbs, dos de los mayores físicos de la época. Desde mediados del año 1902, gracias a la gestión de un amigo, había conseguido un modesto empleo en la OFICINA DE PATENTES de Berna, como "experto técnico de tercera clase". Casado en 1903 con Mileva Maric, una estudiante de matemáticas de origen serbio, el matrimonio tuvo dos hijos, Hans Albert, en 1904, y Eduard, en 1910.

EL MEMORABLE AÑO 1905:
LOS CUANTOS DE RADIACIÓN

Los meses transcurridos en Berna, anteriores a la incorporación de Einstein a la OFICINA DE PATENTES, constituyeron para Albert un importante período de maduración. Por aquel entonces trabó amistad con Maurice Solovine, un estudiante de filosofía rumano, y con

el suizo Conrad Habicht, especializado en matemática. Los tres se reunían con frecuencia durante largas horas para leer en común obras diversas y discutir cuestiones tanto de física, como de filosofía y de literatura. Entre los libros que estudiaron en detalle se contaban *El desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, de Ernst Mach, y *La ciencia y la hipótesis*, de Henri Poincaré. El grupo –autodenominado humorísticamente "Academia Olimpia"– se disolvió en 1904-1905 por los imperativos de la vida. Pero el interlocutor que necesitaba Einstein para la discusión de las nuevas y originalísimas ideas que bullían en su mente no dejó de existir en ningún momento, ya que en 1904 otro talentoso y cultivado amigo suyo, el ingeniero italiano Michele Besso, también había conseguido empleo en la OFICINA DE PATENTES de Berna, lo cual tuvo el efecto de promover habitualmente un fructífero intercambio de opiniones entre ambos.

A fines del siglo XIX la física parecía presentarse como una ciencia esencialmente agotada. Existía entre los físicos la impresión general de que cualquier nuevo fenómeno que se descubriese en lo adelante podría remitirse de una manera u otra a las leyes de la mecánica de Newton y/o a las ecuaciones de Maxwell. Por ejemplo: cuando, al acumularse, a partir de 1897, una fuerte evidencia a favor de la existencia del electrón, se hizo necesario describir matemáticamente el comportamiento conocido del recién llegado, esta tarea la abordó con éxito el profesor de Leiden, Hendrik Antoon Lorentz. Pero,

tocante a la base física de la "teoría del electrón", su creador declaraba que era "hija de la gran teoría de la electricidad a la cual quedarán siempre ligados los nombres de Faraday y Maxwell."

Sin embargo, en los últimos años del siglo XIX, algunos resultados experimentales se resistían tercamente a cualquier explicación de corte clásico. Sucedió esto con la radiación del llamado *cuerpo negro*, y también con los esfuerzos para revelar el movimiento de la Tierra con respecto al *éter*, el cual, según Maxwell, debía llenar todo el universo en calidad de medio requerido para que las ondas electromagnéticas se pudiesen propagar.

Con respecto a lo primero, se habían podido explicar algunas características importantes de la radiación electromagnética emitida por una superficie negra ideal a una temperatura dada, y ello se consideró un éxito más de las ideas generales comúnmente aceptadas. Sin embargo, pese a todos los esfuerzos, el problema de explicar la forma de la curva obtenida experimentalmente, que da la distribución de la energía radiada en función de la temperatura del cuerpo y la longitud de onda de la radiación, continuó sin resolverse hasta ya entrado el último año del siglo XIX.

Fue en octubre de 1900, que el profesor de la UNIVERSIDAD DE BERLÍN, Max Planck, propuso una fórmula matemática puramente empírica que se ajustaba particularmente bien a los datos experimentales. Unas semanas más tarde, consiguió darle una curiosa base teórica. Pero había en esto algo desconcertante: muy a

pesar de los deseos del sabio, el problema se resolvía suponiendo las paredes del cuerpo radiante constituidas por osciladores eléctricos submicroscópicos, cada uno de los cuales vibra a una frecuencia f , con una energía cuyo valor es, necesariamente, un múltiplo entero del *cuanto de energía* de valor hf , donde h es una constante universal ($= 6,625 \times 10^{-34}$ joule·segundo), que pasó a denominarse posteriormente *constante de Planck*.

Aquellas ideas, que estaban destinadas a revolucionar la física, entraban en conflicto directo con todo un cuerpo de doctrina científica hasta entonces admitido universalmente y comprobado en innumerables casos, por lo que encontraron un ambiente general de indiferencia entre los físicos de la época. Durante los cinco años siguientes, no se publicó nada más sobre el asunto. Al fin y al cabo, en la forma presentada por Planck, parecía tratarse de un mero artificio matemático, que contradecía la convicción de Newton de que "la naturaleza no da saltos."

Pero volvamos a las actividades de Einstein en Berna, recordando que en la primavera de 1905 escribía con desenfado a su amigo Habicht:

... ¿por qué no me has enviado tu tesis todavía?
¿No sabes tú que yo sería uno de los uno o dos individuos que la leerían con interés y placer? A cambio, te prometo cuatro artículos [...] el primero [...] es muy revolucionario...^[10:42]

Aquel primer artículo lo envió Einstein el 17 de enero de 1905 a *Annalen der Physik*, donde fue publicado bajo el modesto título "Un punto de vista heurístico concerniente a la producción y la transformación de la luz". En él se reconocía que si bien la teoría de Maxwell explicaba de manera excelente la *propagación* de la luz, no era adecuada para dar cuenta de los fenómenos de *interacción* momentánea entre la radiación y la materia. Para remediar este defecto, Einstein proponía la hipótesis trascendental de que, contrariamente al modelo clásico, la energía de la radiación electromagnética no se distribuye uniformemente sobre la totalidad del frente de onda que se propaga, sino que se concentra o localiza en regiones espaciales limitadas, como en "paquetes" o *cuantos de radiación* (que más tarde habrían de recibir la denominación de *fotones*). Su introducción permitió a Einstein dar una razón teórica al paradójico comportamiento experimental del llamado *efecto fotoeléctrico*, inexplicable en el contexto de la teoría maxwelliana. Por supuesto, la nueva y trascendental hipótesis entraba en franco conflicto con los modelos físicos aceptados entonces al punto que, hasta 1918, el propio Planck la rechazó con obstinación por considerarla francamente escandalosa. Pero aquel radical abandono de la idea de la continuidad de la energía marcó la verdadera separación entre la física *cuántica* y la física *clásica*, separación indisolublemente ligada a los primeros trabajos de Einstein.

EL MEMORABLE AÑO 1905:
LA RELATIVIDAD ESPECIAL

El último artículo referido en su carta a Habicht, convirtió a Einstein en el padre de la *teoría de la relatividad*. El manuscrito se recibió el 30 de junio de 1905 en *Annalen der Physik* y fue publicado allí bajo un título nada presuntuoso: "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento". Comienza diciendo:

Es conocido que la electrodinámica de Maxwell –tal como se concibe usualmente en la actualidad–, cuando se aplica a cuerpos en movimiento, da lugar a asimetrías que no parecen ser inherentes a los fenómenos. Considérese, por ejemplo, la interacción electrodinámica de un imán y un conductor [...] Ejemplos de esta clase, así como los intentos infructuosos de verificar que la Tierra se mueve relativamente al "[éter] lumínico", conducen a la conjetura de que tanto los fenómenos de la electrodinámica como los de la mecánica, no poseen propiedades correspondientes a la idea del reposo absoluto. Más bien sugieren que, como ya se ha demostrado hasta para cantidades pequeñas de primer orden, las mismas leyes de la electrodinámica y la óptica serán válidas para todos los sistemas de referencia para los cuales valgan las ecuaciones de la mecánica.* Elevaremos esta conjetura (cuya sustancia será denominada el "Principio de Relatividad" en lo que

sigue) al rango de un postulado, e introduciremos además otro postulado, que solo en apariencia es irreconciliable con el anterior, a saber, que la luz en el espacio vacío siempre se propaga con una velocidad definida c la cual es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor.

*La memoria precedente de Lorentz no era conocida del autor en este tiempo. [4:37-38]

En realidad, Henri Poincaré había enunciado en septiembre de 1904 su idea del *Principio de Relatividad*.

De acuerdo con el Principio de Relatividad –decía Poincaré– las leyes de los fenómenos físicos han de ser las mismas para un observador "fijo" que para un observador que tiene un movimiento de traslación relativo a él, de manera que no tenemos, y posiblemente no podemos tener, medio alguno de discernir si somos o no arrastrados en un movimiento tal. [19:30]

Luego de examinar los diversos experimentos infructuosos realizados con la intención de demostrar el movimiento de nuestro planeta con respecto al éter –entre los que destacaban por su elevada precisión, el experimento de Fizeau, modificado por Michelson (1886), y el de Michelson-Morley (1887)– añadía Poincaré:

De todos estos resultados debe surgir un tipo nuevo de dinámica, *el cual se caracterizará, sobre todo, por la regla de que ninguna velocidad puede exceder la velocidad de la luz.* ^[19:31]

Aunque de manera independiente, Einstein había llegado a las mismas conclusiones en su trabajo.

Si bien los resultados de Michelson y Morley decepcionaron a casi todos los físicos de la época, tuvieron, en cambio, la virtud de impulsar la labor teórica de G.F. Fitzgerald, J. Larmor, H.A. Lorentz, y Poincaré. Así, por ejemplo, en una publicación de 1904, Lorentz logró extender su "teoría del electrón" al caso de los sistemas en movimiento, e introdujo el concepto de *tiempo local* para cada sistema –si bien como una ficción matemática– y obtuvo las ecuaciones que vinculan entre sí las observaciones de longitud y tiempo, realizadas en sistemas que se mueven unos con respecto a otros con movimiento rectilíneo y uniforme. Estas ecuaciones constituyen lo que Poincaré denominó en 1905, *la transformación de Lorentz*. Pero el punto de vista de Einstein era radicalmente nuevo.

Mientras Fitzgerald y Lorentz proponían aceptar que los cuerpos deben contraerse en la dirección de su movimiento relativo al éter a fin de explicar el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley, Einstein comenzaba por cuestionar las propias nociones de espacio y de tiempo absolutos propuestas por Newton, y concluía que no son asequibles a la experiencia. Para que lo

fuesen, entendía que era necesario establecer procedimientos viables de comparación –al menos en principio–, tales como la sincronización, por medio de señales luminosas, de relojes que viajan en distintos sistemas en movimiento de traslación uniforme unos con respecto a otros. De aquí resultaba nuevamente la transformación de Lorentz, pero ahora con novedosas y trascendentes implicaciones en cuanto a lo que pueden medir los observadores ligados a cada sistema. Así, dos sucesos que son simultáneos para un observador en el sistema de referencia, dejan de serlo para otro observador ubicado en un sistema que se mueve con movimiento rectilíneo y uniforme respecto al primero, en tanto que los relojes de uno de los sistemas se ven marchar más lentamente desde el otro, de manera que es imposible definir operativamente un tiempo universal, el mismo para todos los observadores en movimiento unos con respecto a otros. Además, si se mide la longitud de una barra en un sistema de referencia al cual está fija, resulta que dicha longitud es siempre mayor de la que arrojan las mediciones a distancia desde otro sistema que se mueve paralelamente a la barra, con movimiento uniforme. Añádase a esto que, al admitir la constancia de la velocidad de la luz, Einstein lograba deshacerse del paradójico éter.

Todas estas ideas resultaban tan radicales que el propio Lorentz –según afirma Max Born– "nunca fue 'relativista' y, si acaso reconoció de labios afuera la labor de Einstein, fue para evitar averiguaciones." [9:248]

En el nuevo contexto, la forma de las ecuaciones de Maxwell no varía al cambiar el sistema de referencia utilizado, o como se dice: la teoría electromagnética se hace totalmente relativista. Al imponer esta condición a las leyes de la mecánica, resulta necesario abandonar su formulación newtoniana, la cual, no obstante, continúa siendo válida *como caso límite*, con una aproximación tanto mejor cuanto menores son las velocidades involucradas. El trabajo de Einstein sentaba las bases de una profunda y duradera revolución en todo el cuadro del universo que los físicos iban a tener ante sí en lo adelante. El mundo ya no volvería a mirarse de la misma manera.

Pero ¿con qué base experimental contaba la nueva teoría? En cuanto a la relatividad del tiempo, esta idea encontró considerable oposición, ya que conducía a aparentes paradojas, como la llamada "de los relojes" o "de los gemelos de Langevin", incompatibles con el sentido común. Habría que esperar años antes de que los experimentos con rayos cósmicos (y otros, más recientes, con partículas elementales llevadas a velocidades cercanas a la de la luz mediante gigantescos aceleradores) demostrasen que la vida de los "mesones mu", animados de gran velocidad, es muchas veces más larga que la de sus homólogos en reposo. Por último, en 1971, transportando en avión dos relojes atómicos de altísima precisión en uno y otro sentido alrededor de la Tierra hasta retornar al punto de partida, se pudo comprobar que en tanto uno de los relojes se atrasaba, el otro se adelantaba justamente en

la cantidad requerida por la relatividad especial, con las correcciones que, por el llamado *efecto de altura*, prevé la relatividad *general* einsteiniana (a la que nos referiremos después).

Por su parte, desde 1905, Einstein no cesaría de desarrollar, ni por un instante, sus primeras ideas relativistas. Así, a partir de las ecuaciones electromagnéticas que había obtenido en su trabajo anterior, llegó en menos de tres meses a la conclusión de que "si un cuerpo cede cierta cantidad de energía L en forma de radiación, su masa disminuye en una cantidad L/c^2 " (donde c es la velocidad de la luz en el vacío), de modo que "la masa de un cuerpo es una medida de su contenido de energía."^[5:71] El artículo donde se expone este resultado, apareció también en el número de noviembre de 1905 de *Annalen der Physik*. Ocupaba solo tres páginas impresas.

Pero volvamos a la carta de Einstein a Habicht.

Allí se anunciaban dos artículos más. En uno de ellos (el tercero en orden) se estudiaba el movimiento errático que experimentan las partículas suspendidas en el seno de un líquido o un gas, conocido como *movimiento browniano*. Einstein supuso que este movimiento era el resultado observable del incesante golpeteo de las moléculas del medio sobre las partículas en suspensión, y realizó el análisis estadístico correspondiente, susceptible de contrastación experimental. (Trabajando independientemente, el físico polaco Smoluchowski llegó a un análisis similar, cuyos resultados fueron publicados en 1906.)



Albert Einstein en la OFICINA DE PATENTES de Berna, por la época en que propuso la *teoría especial de la relatividad*.

Muchos años después, Einstein declararía que su principal objetivo al investigar el movimiento browniano había sido

... hallar hechos que garantizaran hasta donde fuese posible la existencia de átomos de tamaño definido [...] La [verificación experimental de la] ley estadística [...] del movimiento browniano [...] combinada con la determinación de Planck de las verdaderas dimensiones moleculares a partir de la ley de la

radiación [...] convenció a los escépticos, que eran bastante numerosos entonces (Ostwald, Mach), de la realidad de los átomos. ^[10:58-59]

No es de extrañar, pues, que el artículo a que nos referimos tuviera la repercusión que tuvo en los albores de la física moderna, sobre todo cuando el físico francés Jean Perrin logró comprobar en el laboratorio la exactitud de las conclusiones teóricas de Einstein.

El segundo trabajo que Einstein menciona en su carta a Habicht era, científicamente hablando, el menos valioso de todos, pero el autor lo remitió a la UNIVERSIDAD DE ZURICH en calidad de proposición para una posible tesis doctoral suya. Llevaba por título "Una nueva determinación del tamaño de las moléculas" y en él se brindaba la estimación del número de moléculas de un gas contenida en un cierto volumen, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, es decir, el llamado *número de Avogadro*, con la peculiaridad de que Einstein lo determinaba a partir de las propiedades de las disoluciones. Pese a que los resultados eran nuevos y nada triviales, el trabajo fue rechazado como material de tesis y devuelto con la observación de que era demasiado corto. El defecto fue corregido inmediatamente por el autor, añadiéndole una oración a su manuscrito. En estas condiciones, todo le pareció en orden al tutor y Einstein obtuvo su doctorado, también en 1905.

EL AÑO 1907: $E = mc^2$
Y LA GRAVITACIÓN

El luego famoso y muy cotizado volumen 17 de *Annalen der Physik* de 1905, que contiene los principales trabajos de Einstein, constituyó una verdadera carta de presentación para Albert Einstein ante el mundo científico de la época. Anunciaba a grandes voces la aparición de un investigador genial, que acababa de hacer aportes fundamentales en tres campos bien distintos de la física.

Max Planck se entusiasmó inmediatamente con aquellos trabajos y se dio a la tarea de desarrollar por sí mismo algunas ideas sobre la teoría de la relatividad einsteiniana. En cuanto a Lorentz, ya sabemos lo que pensaba. Poincaré no estaba entusiasmado, al contrario del asistente de Planck, Max von Laue, quien, en el verano de 1906, se animó a visitar a Einstein en Suiza para conocer al joven investigador.

En cuanto al propio Einstein, su actividad científica había continuado ininterrumpidamente a todo tren, en un esfuerzo por extraer las máximas conclusiones posibles de sus trabajos previos sobre teoría de la relatividad y avanzar aún más.

Como se ha visto, ya en 1905 Einstein había publicado un razonamiento según el cual a una cantidad de energía, en cualquiera de sus formas, existe siempre asociada una determinada masa. Dos años más tarde, se percataba –y esto más bien por razones de simetría– de que la proposición recíproca también debía ser cierta,

conclusión que venía a darle pleno y trascendental contenido a la hoy famosa fórmula $E = mc^2$, que en 1907 apareció por primera vez con su interpretación completa en *Jahrbuch der Radioaktivität*. Al presentarla, Einstein se refirió a ella como la consecuencia más importante de la teoría de la relatividad, con lo que evidenciaba, de nuevo, el calibre de su extraordinario sentido físico.

Como se sabe, en 1945 la fórmula $E = mc^2$ encontró una confirmación tan espectacular como trágica en el estallido de las primeras bombas atómicas. Hace ya mucho tiempo que esta fórmula se utiliza a diario en el trabajo de los físicos nucleares y en el diseño de los grandes aceleradores de partículas.

Por otra parte, inconforme con que su trabajo anterior sobre relatividad se limitara solamente a sistemas de referencia *inerciales* (esto es, aquellos en los cuales se cumple el principio de inercia), animados de movimiento rectilíneo y uniforme unos con respecto a otros, Einstein comenzó a explorar la posibilidad de extender sus conclusiones previas al caso de los sistemas acelerados.

Reflexionando profundamente sobre conceptos bien establecidos desde Newton y aparentemente claros para todo el mundo, Einstein llegó a enunciar, en 1907, lo que más tarde denominaría el *principio de equivalencia*, según el cual no es posible diferenciar localmente los efectos producidos por la aceleración de un sistema de referencia, de los producidos por un campo gravitatorio

externo, de suerte que la masa inercial y la masa gravitatoria pueden verse como la misma cosa. Y como ya había deducido que a toda energía corresponde una masa inercial, resultaba inmediata la conclusión de que un campo gravitatorio es capaz de desviar los rayos luminosos y afectar la velocidad de la luz, contrariamente a lo que él mismo había postulado previamente, de modo que la validez de su teoría de la relatividad de 1905 quedaba restringida a aquellas regiones del universo en las cuales puede despreciarse el campo gravitatorio. También dedujo que las rayas del espectro electromagnético debían experimentar un corrimiento por acción de la gravitación.

Por su parte, a fines de 1907, el matemático Hermann Minkowski, profesor de la UNIVERSIDAD DE GÖTTINGEN, desarrolló brillantemente las ideas relativistas, disponiéndolas geoméricamente en forma tal, que viabilizó posteriormente la creación de la monumental teoría *general* de la relatividad del propio Einstein. Introdujo la importante noción del *continuo espacio-tiempo* de cuatro dimensiones (en el cual el paso a un sistema de referencia móvil está representado por una rotación geométrica), cuya enorme trascendencia para la teoría de la relatividad se haría patente algunos años después.

A partir de ahora –declaró Minkowski en 1908– el espacio por sí mismo, y el tiempo por sí mismo están condenados a desvanecerse en meras sombras, y solo una especie de unión entre ambos conservará una realidad independiente. [17:85]

Como dato curioso, quizá valga la pena añadir que Minkowski había sido profesor de Albert en el POLITÉCNICO DE ZURICH, y no guardaba muy buen recuerdo de la labor académica desarrollada entonces por su ahora prestigioso ex alumno.

Mientras tanto, Einstein había decidido incorporarse a la carrera profesoral, movido por un ardiente deseo de continuar sus propias investigaciones "bajo condiciones menos desfavorables" que en la OFICINA DE PATENTES. Al efecto, a finales de 1907 presentó su aspiración al cargo de *Privatdozent* de la UNIVERSIDAD DE BERNA, pero fue rechazado con la observación de que su trabajo sobre relatividad era incomprensible. También resultaron baldíos sus esfuerzos para conseguir trabajo en otros centros docentes suizos, incluso como profesor de matemática de nivel medio. Pero como su prestigio científico no cesaba de crecer, finalmente fue nombrado, en 1908, *Privatdozent*, cargo prácticamente honorario que debía compartir con el de la OFICINA DE PATENTES para no morir de hambre. En cuanto a las capacidades pedagógicas del joven maestro, parece que eran bastante pobres, a juzgar por algunos testimonios de la época. Pese a ello, gracias al afecto y ejemplar desinterés personal de su amigo Friedrich Adler, fue promovido en 1909, apenas cumplidos los 30 años de edad, al cargo de *Profesor Asociado* de la UNIVERSIDAD DE ZURICH. Poco después, dejó su puesto en la OFICINA DE PATENTES.

En septiembre de 1909 participó en el 81^o Congreso de Científicos y Médicos Alemanes, celebrado en Salzburgo. Allí tuvo la oportunidad de discutir sus ideas con algunos de los más reputados científicos de la época, entre ellos, Max Planck. Pese a que los puntos de vista de Einstein no fueron generalmente aceptados, durante las discusiones todos tuvieron ocasión de apreciar la singular luminaria científica que se anunciaba en la persona del joven profesor.

UN NUEVO MIEMBRO DE LA ACADEMIA

En 1911 apareció el primer libro importante publicado sobre la teoría de la relatividad. Su autor era Max von Laue.

Pese a su doble condición de extranjero y de judío, en el mismo año le fue ofrecida a Einstein la plaza de *Profesor de Física Teórica* de la UNIVERSIDAD ALEMANA DE PRAGA, que finalmente le fue otorgada, no sin algunas pequeñas dificultades, pues el emperador Francisco José exigía que los profesores debían tener una fe religiosa reconocida y el aspirante había declarado que no era creyente.

Las ideas que tenía Einstein sobre religión fueron un tema recurrente a lo largo de su vida, al cual debió volver una y otra vez ante la reiteración que se le hacía de la delicada pregunta sobre su creencia en Dios. Su punto de vista al respecto lo resumió en 1947, en las siguientes palabras:

Me parece que la idea de un Dios personal es un concepto antropológico que no puedo tomar seriamente. Tampoco puedo imaginar ninguna voluntad u objetivo más allá de la esfera humana. Mis puntos de vista son cercanos a los de Spinoza: creencia en la sencillez lógica del orden y la armonía que admiramos por su belleza y que solo podemos comprender humilde e imperfectamente. Creo que debemos contentarnos con nuestro conocimiento y comprensión imperfectos y tratar los valores y obligaciones morales como un problema humano: el más importante de los problemas humanos. ^[10:95]

Al interpretar esta cuidadosa declaración de fe laica, vale la pena recordar que para el propio Spinoza, las palabras Dios y Naturaleza eran totalmente intercambiables, por lo cual, como se sabe, fue en su tiempo tachado de ateo, circunstancia que hubo de acarrearle consecuencias desagradables y hasta peligrosas. En cuanto a Einstein, este utilizaba frecuentemente la palabra "Dios", pero más bien con un carácter metafórico, como lo sugieren estas dos famosas expresiones suyas:

Dios es refinado, pero no perverso.

Tú crees en el Dios que juega a los dados y yo creo en la ley y la ordenación total de un mundo que *es* objetivamente y que yo trato de captar en una forma locamente especulativa... ^[9:189]

La primera frase es el comentario que hizo Einstein en 1921, al enterarse de ciertos resultados experimentales obtenidos por el Profesor Dayton Miller (luego hallados erróneos), que parecían contradecir la constancia de la velocidad de la luz. La segunda procede de una carta de 7 de septiembre de 1944 a Max Born, en la que declaraba su inconformidad con la interpretación indeterminista de la mecánica cuántica.

Retornando a la estancia de Einstein en Praga, que duró cuatro años y medio, recordaremos que durante ese período continuó desarrollando sus teorías de la relatividad y de los cuantos. La *Conferencia Solvay* de física de 1911, celebrada en Bruselas, le sirvió de marco para discutir sus puntos de vista con algunos de los físicos teóricos más notables de la época. En carta a un amigo, expuso sus impresiones a propósito del evento en los siguientes términos:

Pude persuadir a Planck de que aceptara muchos de mis conceptos, después de haberse resistido a ellos durante años. Es un hombre totalmente honesto que piensa en los demás antes que en sí mismo [...] Lorentz es una maravilla de inteligencia y tacto exquisito. ¡Una obra de arte viviente! [...] Poincaré se mostraba, en general, simplemente antagónico (contra la teoría de la relatividad) y, a pesar de toda su agudeza, mostró poca comprensión de la situación. Planck está bloqueado por

ciertas preconcepciones indudablemente falsas [...] pero nadie sabe nada. Todo el asunto habría sido pura delicia de jesuitas diabólicos. ^[10:98]

El propio año 1911, Einstein encontró una manera de poner a prueba, durante un eclipse total de sol, su incipiente teoría de la desviación de la luz por un campo gravitatorio. Según sus cálculos de entonces, las estrellas visibles próximas al Sol debían aparecer, durante el eclipse, apartadas 0,83 segundos de arco con respecto a su posición en el cielo nocturno. Pero todavía habría de tardar la llegada de un eclipse favorable, lo cual, como veremos después, resultó afortunado.

En octubre de 1912, luego de rechazar ofertas de cátedra en Utrecht, Leiden y Viena, Einstein volvió al POLITÉCNICO DE ZURICH, esta vez con un nombramiento de *Profesor Titular* por diez años. Entre los avales que hubo de presentar al efecto, se encontraban los de María Curie y Henri Poincaré, quien, entre otras consideraciones, expresaba lo siguiente:

El Sr. Einstein es uno de los pensadores más originales que nunca he conocido. Pese a su juventud ya ha conquistado un muy honorable lugar entre los principales científicos de su tiempo. Lo que más debemos admirar en él es la facilidad con que se adapta a nuevos conceptos y sabe extraer de ellos todas las conclusiones. No se apega a los principios clásicos, y cuando se enfrenta a un nuevo problema en física, se percata rápidamente de

todas sus posibilidades. Esto conduce de inmediato en su mente a la predicción de nuevos fenómenos que algún día puedan verificarse mediante experimentos. [10:99]

Como puede apreciarse, por esta época era ya muy grande el prestigio de Einstein entre sus colegas, aun cuando muchos no compartiesen sus puntos de vista, ya fuese sobre los cuantos de luz o sobre la relatividad del espacio y el tiempo. Por esta razón, su presencia en Zurich estaba destinada a durar bien poco: en 1913, a los treinta y cuatro años de edad fue electo a la renombrada REAL ACADEMIA DE CIENCIAS PRUSIANA –con el rango de *Professor* y la posibilidad de dedicar el tiempo que quisiera a la investigación–, gracias a la gestión de un grupo de importantes académicos, principalmente Planck y Nernst. Había aceptado, a condición de que no se le obligase a renunciar a su ciudadanía suiza, concesión que le fue otorgada.

Llegó a Berlín en abril de 1914. En agosto, estalló la Primera Guerra Mundial y poco después Albert y Mileva se separaron definitivamente. Ella retornó a Suiza con los hijos de ambos. En medio de un delirio patriotero generalizado, Planck, junto a otros noventa y dos intelectuales alemanes, firmó un manifiesto que identificaba el militarismo alemán con la cultura alemana. Poco después, se publicó otro manifiesto, en el que se abogaba por la cooperación de los intelectuales de todos los países beligerantes para restaurar la paz; al pie figuraban solamente cuatro firmas, y una de ellas era la de Einstein.

LA RELATIVIDAD GENERAL

Recuérdese que la teoría de la relatividad propuesta originalmente por Einstein en 1905, si bien contenía en su seno una carga de ideas nuevas sobre el espacio y el tiempo, era aplicable únicamente a sistemas de referencia inerciales en traslación uniforme unos con respecto a otros, por lo que el propio Einstein trató de generalizarla para movimientos relativos cualesquiera de los sistemas de referencia, en presencia de un campo gravitatorio, problema cuya solución atacó entre 1907 y 1911, generando consecuencias teóricas sorprendentes. Con extraordinaria perspicacia, reconoció que la clave del problema residía en la reevaluación de un oscuro principio de la mecánica newtoniana, que todo el mundo había tomado por evidente hasta entonces y que ahora resultaba tan importante que debía elevarse a la categoría de ley fundamental de la naturaleza: el *principio de equivalencia*, según el cual a escala local los efectos físicos de un campo gravitacional son indistinguibles de los efectos físicos de un sistema de coordenadas acelerado. Aunque de enorme contenido físico, casi todas estas ideas fueron desarrolladas inicialmente utilizando solamente los recursos de la matemática elemental.

Pero la solución final exigiría un armamento matemático más complejo, que Einstein no poseía aún. Apenas llegado a Zurich, en octubre de 1912, escribió:

Me ocupo exclusivamente del problema de la gravitación y ahora creo que venceré todas las

dificultades con la ayuda de un amigo matemático de aquí. Pero una cosa es cierta: que nunca antes en toda mi vida he trabajado tan duro, y que le he tomado gran respeto a la matemática, cuyas partes sutiles, en mi inocencia, había considerado un puro lujo hasta ahora. Comparada con este problema, la teoría de la relatividad original es un juego de niños. ^[10:116]

Que el instrumento matemático requerido para las investigaciones de Einstein ya existía, parece habérselo informado un colega en Praga. Se trataba del *cálculo tensorial*, creado unos veinte años antes por los matemáticos italianos Gregorio Ricci y Tullio Levy-Civita.

Durante sus estudios en el POLITÉCNICO DE ZURICH, Einstein había aprobado los cursos regulares con auxilio de las magníficas notas de clase que tomaba su condiscípulo Marcel Grossmann, quien también le ayudaría después a conseguir empleo en la OFICINA DE PATENTES. Ahora, de nuevo con la ayuda de Grossmann, que era a la sazón profesor de matemática del POLITÉCNICO, se aprestaba Einstein a tratar de dominar los secretos del cálculo tensorial. La aplicación del *tensor métrico* al continuo espacio-tiempo, no tardó en convencerlo de que no solo era posible, sino conveniente, asignarle a la gravitación una interpretación de tipo geométrico, si bien a base de una geometría no euclidiana. En 1913 y 1914 ambos amigos publicaron, en colaboración, dos

trabajos que se acercaban a la solución del problema. Empero, la cuestión continuaba sin resolverse.

Al trasladarse Einstein a Berlín, se interrumpió la colaboración con Grossmann. De ahora en adelante habría de continuar trabajando sobre el mismo problema, intercambiando ideas con dos matemáticos alemanes muy destacados: Félix Klein y David Hilbert. Al cabo de un período de intensísima labor, Albert llegó a la conclusión de que debía añadirse al *principio de equivalencia* el *principio de covarianza general*, según el cual las leyes de la física han de ser independientes de las coordenadas en el espacio-tiempo. Por cierto, una idea que había abandonado en Zurich, al creerla reñida con la causalidad, pero que no era en realidad así, según podía ver ahora.

En octubre de 1915, Einstein elaboró una nueva variante de la *teoría general*, que unos días después modificó de nuevo y recalculó el valor de la precesión del perihelio de la órbita de Mercurio y la curvatura de los rayos de luz. Llegó así –aunque no sería aún en forma definitiva– a su *ley del campo gravitatorio*, que contenía la vieja ley newtoniana de la gravitación como una aproximación suficientemente precisa para la mayoría de los casos prácticos imaginables. El campo gravitacional se reducía entonces a una propiedad geométrica del continuo espacio-tiempo, representada por los diez componentes del *tensor métrico*. Pero no fue hasta el 25 de noviembre que produjo su trabajo

titulado "Las ecuaciones de campo de la gravitación", donde completaba la estructura lógica definitiva de la teoría. Cinco días antes, Hilbert había remitido a la ACADEMIA DE CIENCIAS DE GOTINGA para su publicación, un artículo que incluía la expresión matemática correcta (aunque incorporaba una suposición innecesaria) del campo gravitacional, lo cual provocó que el 26 de noviembre Einstein le escribiera a un amigo:

La teoría es de una belleza inigualada. Pero solo uno de mis colegas la ha entendido realmente, y ese está tratando de apropiársela hábilmente. [16:116]

Sin embargo, Hilbert terminó reconociéndole explícitamente a Einstein el debido crédito, y ambos se reconciliaron.

Einstein publicó sus resultados en *Annalen der Physik* de 20 de marzo de 1916, bajo el título "El fundamento de la teoría general de la relatividad". Característicamente, se señalaban allí, junto a abstrusos desarrollos matemáticos, tres consecuencias observables de la nueva teoría:

[1] ... las rayas espectrales de la luz que nos llega desde la superficie de las estrellas grandes deben aparecer corridas hacia el extremo rojo de espectro. [6:162]

[2] ... un rayo de luz que pase cerca del Sol experimentará una desviación de 1,7" [6:163]

[3] Los cálculos dan para el planeta Mercurio una rotación de la órbita [...] que corresponde exactamente a la observación astronómica (Leverrier)... [6:164]

De estos efectos, en aquel momento solo se conocía el último, cuya concordancia con las deducciones teóricas, habían llevado a Einstein a depositar una fe ilimitada en su teoría, en términos generales, como explicamos al principio.

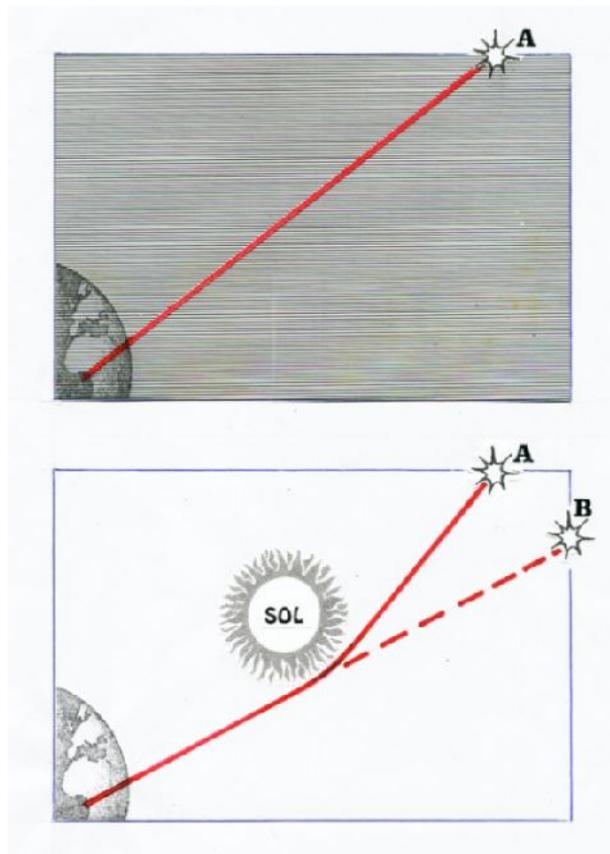
La primera consecuencia apuntada, el hoy llamado *efecto Einstein*, había sido prevista por él en 1907, pero debió esperarse aún varios años para que pudiera comprobarse físicamente. La influencia de la gravitación sobre las rayas (frecuencias) espectrales fue comprobada posteriormente con gran precisión en la propia Tierra, al punto que hoy se considera tan bien establecido el efecto Einstein, que se utiliza para el cálculo de la masa de las estrellas.

Lo revolucionario de las ideas científicas de Einstein tuvo que haber impresionado también a muchos de sus entonces colegas de la ACADEMIA DE CIENCIAS PRUSIANA, porque es difícil explicar de otra manera que en 1916, en plena Guerra Mundial,

cierto editor alemán le pidiera escribir una exposición elemental de la teoría general de la relatividad para el gran público. La obra vio la luz en 1917 y se agotó poco después. Luego de agotarse la segunda edición, se autorizó una tercera, pese a las restricciones que la guerra imponía al suministro de papel.

En 1916 solo parecía posible comprobar sin demasiadas dificultades la desviación de la luz por la acción gravitatoria del Sol, y esto fue lo que ocurrió, como consecuencia de las mediciones efectuadas por las expediciones británicas a Sobral, en Suramérica, y Príncipe, en África, –promovidas por Arthur Eddington–, que observaron el eclipse total de sol del 29 de marzo de 1919. La concordancia que obtuvieron con el valor aproximado de 1,7 segundos de arco, fue extraordinariamente buena, y este hecho elevó inmediatamente a Einstein a la fama mundial.

(Si se toma en cuenta que, cuando aún no había llegado a su versión final de la teoría general de la relatividad, él mismo había previsto un valor de la desviación unas dos veces menor, se verá cómo, paradójicamente, resultó afortunado para el ulterior crédito de la teoría que la **guerra** impidiera las observaciones vinculadas al eclipse solar de agosto de 1914, visible en Crimea.)



Estrella observada en A en una noche ordinaria (arriba) y en B durante un eclipse solar (abajo), debido a la curvatura de la trayectoria de los rayos luminosos originada por la masa solar, al pasar cerca del borde del Sol, según la teoría general de la relatividad.

REVOLUTION IN SCIENCE.

NEW THEORY OF THE UNIVERSE.

NEWTONIAN IDEAS OVERTHROWN.

Yesterday afternoon in the rooms of the Royal Society, at a joint session of the Royal and Astronomical Societies, the results obtained by British observers of the total solar eclipse of May 29 were discussed.

The greatest possible interest had been aroused in scientific circles by the hope that rival theories of a fundamental physical problem would be put to the test, and there was a very large attendance of astronomers and physicists. It was generally accepted that the observations were decisive in the verifying of the prediction of the famous physicist, Einstein, and by the President of the Royal Society as being the most remarkable scientific event since the discovery of the predicted existence of the planet Neptune. But there was difference of opinion as to whether science had to face merely a new and unexplained fact, or to reckon with a theory that would completely revolutionise the accepted fundamentals of physics.

Sir Frank Bessel, the Astronomer Royal, described in words of the excitements and disappointments which in North Brazil and the island of Principe, off the West Coast of Africa. At each of these points, at the same hour, were in the day of the eclipse it would be possible to take during the day a set of photographs of the disc of the sun and a number of bright stars which happened to be seen from either locality. The desired object was to ascertain whether the light from these stars, as it passed the sun, came as directly towards us as if the sun were not there, or if there was a deflection due to its presence, and if the latter proved to be the case, what the amount of the deflection was. If deflection did occur, the stars would appear on the photographic plates at a considerable distance from their theoretical positions. His explanation of the hypothesis that had been current since Copernicus had led to the search for various disturbing bodies, and the methods by which a comparison between the theoretical and the observed positions had been made. He only need the mention that the results were definite and conclusive. The observations had taken place, and the measurements showed that the value of the deflection was in close accord with the theoretical degree predicted by Einstein, as opposed to half that degree, the amount that would follow from the principles of Newton. He was not ready to state that Sir Oliver Lodge, speaking at the Royal Institution last February, had also predicted a prediction. He doubted if deflection would be observed, but was confident that should take place, it would follow the law of Newton and not that of Einstein.

At the meeting the Professor of Mathematics, and the Astronomer Royal, and gave interesting accounts of their work, in which they confirmed the general conclusions that had been enunciated.

'MOMENTOUS PRONOUNCEMENT.'

So far the matter was clear, but when the discussion began, it was plain that the scientific interest centred more in the theoretical bearings of the results than in the results themselves. Even the President of the Royal Society, in stating that they had just listened to "one of the most momentous, if not the most momentous, pronouncements of human thought," had to confess that no one had yet succeeded in stating in clear language what the theory of Einstein really was. It was accepted, however, that Einstein, on the basis of his theory, had made three predictions. The first, as to the motion of the planet Mercury, had been verified. The second, as to the existence and the degree of deflection of light as it passed the sphere of influence of the sun, had now been verified. As to the third, which depended on spectroscopic observations, there was still uncertainty. But he was confident that the Einstein theory must now be regarded with, and that our conceptions of the future of the universe must be fundamentally altered.

At this stage Sir Oliver Lodge, whose contribution to the discussion had been eagerly expected, left the meeting.

Subsequent speakers joined in congratulating the observers, and agreed in accepting their results. More than one, however, including Professor Newall, of Cambridge, insisted as to the full extent of the inferences that had been drawn and suggested that the phenomena might be due to an unknown solar atmosphere further in its extent than had been supposed and with unknown properties. No speaker succeeded in giving a clear non-mathematical statement of the theoretical question.

SPACE - WARPLED.

But in the most general way it may be described as follows: The Newtonian principle assumes that space is unwarple, that, for instance, the three angles of a triangle whose sides are equal, and non-equal, two right angles. But these principles really rest on the observation that the angles of a triangle do equal two right angles, and that a circle is really circular, but there are certain physical facts that seem to show a doubt on the universality of these observations, and suggest that space may require a twist or warp in certain circumstances, as, for instance, under the influence of gravitation, a dislocation in itself slight and applying to the instruments of measurement as well as to the things measured. The Einstein doctrine is that the qualities of space, hitherto believed absolute, are relative to their circumstances. He drew the inference from his theory that in certain cases actual measurement of light would show the effects of the warping in a degree that could be predicted and calculated. His predictions in two of these cases have now been verified, but the questions remain open as to whether the verifications prove the theory from which the predictions were deduced.

"Revolución en la ciencia" / "Nueva teoría del Universo" / "Derrribadas las ideas newtonianas". (Titulares del *Times* londinense del 7 NOV 1919).

Dada la variedad de ideas novedosas asociadas a la creación de la *teoría general de la relatividad*, vale la pena resumir las más destacables como sigue, en beneficio del lector: [15:22, 522-524]

- **Principio de equivalencia** para sistemas mecánicos uniformemente acelerados, extendido a fenómenos electromagnéticos. [Resulta el valor correcto del corrimiento hacia el rojo (1907).]
- La **velocidad de la luz no es constante**, sino que **depende de la gravitación**. [En 1911 Einstein obtiene un valor incorrecto para la curvatura de la luz.]
- El **espacio-tiempo riemanniano** sustituye al **espacio-tiempo minkowskiano** (1912). [Trayectoria inercial en línea recta sustituida por trayectoria geodésica.]
- La presencia de **materia** produce una **curvatura del espacio-tiempo**.
- La **atracción gravitatoria** newtoniana entre dos cuerpos es sustituida por la **curvatura del espacio-tiempo**.
- 1912-13. La **gravitación** viene representada por los diez componentes del **tensor métrico**.
- 18 NOV 1915. Einstein obtiene los valores correctos de la **precesión del perihelio de Mercurio** y el valor final de la **desviación de la luz** al pasar rozando el Sol.
- 25 NOV 1915. Einstein obtiene la **forma final de la estructura lógica de la Teoría General de la Relatividad**, donde las ecuaciones de la física quedan expresadas de suerte que permanezcan idénticas con respecto a cualquier sistema de referencia (**covarianza general**).

A partir de entonces, Einstein no cesaría de trabajar en el perfeccionamiento y la extensión de su *teoría general de la relatividad*. Entre las distintas consecuencias de esta a las que Einstein dedicó su atención a partir de 1916, destaca la de que las alteraciones del campo gravitatorio producidas por la presencia de masas aceleradas, equivalen a deformaciones del espacio-tiempo las cuales se propagan en forma de ondas que viajan con la velocidad de la luz, y no mediante la "acción a distancia" instantánea que suponía Newton.

Otra de las sorprendentes conclusiones de la teoría general de la relatividad era que, en el campo gravitatorio terrestre, un reloj se atrasa al elevarse sobre el suelo, bien que de manera casi imperceptible. Esta predicción se comprobó con extraordinaria precisión al principio de la década de 1960, utilizando el llamado efecto Mössbauer, que había sido descubierto en 1957, dos años después de fallecido Einstein.

Incluso antes de que fuesen realizadas las famosas observaciones del eclipse de 1919, algunos físicos habían comenzado a buscar afanosamente la manera de verificar las nuevas predicciones deducibles de la relatividad general. En una ocasión, en 1918, mientras contemplaba el cielo nocturno, al tiempo que conversaba con el joven físico Hans Thirring sobre las posibilidades existentes al efecto, exclamó Einstein: "¡Qué lástima que la Tierra no tenga una luna en una órbita situada solo algo más allá de la atmósfera!"

Con el lanzamiento del primer *Spútnik*, en 1957, llegó la Era Cósmica o Espacial, y con ella se abrieron nuevas perspectivas para la verificación de la teoría de la relatividad. Así, utilizando satélites artificiales, se pudo comprobar con gran exactitud que la propagación de las ondas radioeléctricas es retardada por el campo gravitatorio solar, precisamente en la cantidad prevista en la teoría general. En cuanto al *principio de equivalencia*, este recibió una magnífica comprobación, apoyada en la extraordinaria precisión con que es hoy posible medir la distancia entre nuestro satélite natural y la Tierra, gracias a los reflectores de rayos láser colocados en la Luna.

No está de más recordar que en vida de Einstein solo la relatividad *especial* logró convertirse en una teoría universalmente aceptada. En cambio, como ya se ha visto, la relatividad *general* mostraba entonces apenas unos pocos puntos de contacto con la realidad. Pese a ello, Einstein la consideraba su logro científico más personal, como se desprende de estas palabras suyas a Leopold Infeld:

La relatividad especial ya estaría descubierta, lo hubiera hecho yo o no. El problema estaba maduro. Pero no creo que esto sea cierto en el caso de la teoría general de de la relatividad. [12:220]

Hasta ahora, nada se ha descubierto que la contradiga. Por el contrario, en los últimos tiempos ha recibido

varias confirmaciones impresionantes, lo cual constituye un monumental tributo a la genial intuición física de su creador.

Estaría en contradicción con toda la historia de la ciencia afirmar que una teoría científica dada pueda considerarse como definitiva. No es de extrañar, por lo tanto, que hoy existan teorías alternativas sobre la gravitación –originadas, por cierto, en los trabajos de Einstein– como la que Brans y Dicke propusieron en 1961. Sin embargo, las observaciones tienden obstinadamente a favorecer el punto de vista einsteiniano. A lo que debe añadirse otro argumento, menos objetivo quizás, pero compartido por no pocos físicos, que el renombrado físico teórico Paul A.M. Dirac expone en los siguientes términos:

La teoría de la gravitación de Einstein posee una virtud de excelencia propia. Quienquiera que aprecie la armonía fundamental que vincula el curso de la naturaleza con principios matemáticos generales, tiene que sentir que una teoría dotada de la belleza y la elegancia de la teoría de Einstein tiene que ser esencialmente correcta. Si apareciese una discrepancia en alguna aplicación de la teoría, se deberá a algún detalle secundario relativo a dicha aplicación que no haya sido tomado en cuenta adecuadamente, y no a una falla de los principios generales de la teoría. Ella inspira una gran confianza, derivada de su gran belleza, con independencia de sus confirmaciones de detalle. [3:13]

FAMA MUNDIAL

Los resultados derivados del eclipse solar de mayo de 1919 convirtieron, de la noche a la mañana, a Albert Einstein –apenas cumplidos los cuarenta años– en una figura mundialmente conocida. A partir de aquel momento, la fama habría de acompañarlo sin desmayo por el resto de sus días. ¿Por qué fue así? El propio Einstein lo ignoraba: "No puedo comprender cómo han hecho de mí una suerte de ídolo", decía.

Quizá ayude algo a explicar este fenómeno el hecho de que en 1919 todavía estaba muy fresco el recuerdo de la Primera Guerra Mundial, y la gente estaba resentida contra el estado de cosas preexistentes, el mismo que había desencadenado la matanza general, cuyos horrores todos querían olvidar.

Ciertamente, la fe en la infalibilidad de las autoridades establecidas se encontraba en crisis, y el mundo estaba presto a proyectar su interés sobre cuanto estuviese reñido con las antiguas convenciones. ¿Por qué no habían de cuestionarse las viejas ideas universalmente admitidas sobre el espacio y el tiempo? Por otra parte, el rostro soñador de Einstein –más propio de un poeta que de un matemático o un físico–, su reconocida genialidad, combinada con una ingenua modestia, su franqueza –brutal a veces– y fino sentido del humor, incluso sus aptitudes violinísticas, hicieron de él una personalidad singularmente atractiva, que escritores y artistas se encargaron de divulgar por todo el orbe.

En los primeros diez años de la posguerra se publicaron cerca de cinco mil libros y folletos de divulgación sobre la teoría de la relatividad. Se les daba el nombre del sabio a los niños. Los periodistas lo acosaban. Recibía diariamente montones de cartas de la más variada índole. Un fabricante puso en circulación una nueva marca de tabacos denominada "Relatividad."

Esta notoriedad mundial habría de facilitar la labor del luchador social y aun político, si cándido, no por eso menos honesto, que había en Einstein.

Conocido en Alemania por sus inclinaciones socialistas, el sabio se regocijó del derrocamiento del emperador alemán en noviembre de 1918. En enero de 1919, se firmó el armisticio y dio comienzo un oneroso período de postguerra para los vencidos. Bajo aquellas difíciles condiciones, tuvo el gesto de retomar la ciudadanía alemana y rechazar las atractivas cátedras que se le ofrecían desde el extranjero.

En septiembre de 1919, escribía a Paul Ehrenfest, su amigo y colega de Leiden:

[Si ahora], justamente cuando mis esperanzas políticas se están realizando, me largara sin necesidad y *en parte* para mi ventaja material, cometería una doble bajeza hacia el mismo pueblo que me ha rodeado de cariño y amistad, y al cual mi partida le resultaría doblemente dolorosa en estos tiempos de supuesta humillación...^[10:138-139]

Las viejas rivalidades patrioterías, avivadas al calor de la contienda imperialista, estorbaron durante algún tiempo la aceptación en Europa de la teoría de la relatividad, pese a lo cual, a finales de 1919, el *Times* de Londres publicó un artículo que le había solicitado a Einstein, donde este expresaba:

Está totalmente de acuerdo con las grandes y orgullosas tradiciones de la labor científica de vuestro país que científicos eminentes hayan invertido tiempo y esfuerzo, y vuestras instituciones no hayan ahorrado gastos, para comprobar las implicaciones de una teoría que fue perfeccionada y publicada durante la guerra en la tierra de vuestros enemigos... [10:139]

Y terminaba con una nota mordaz:

He aquí, para delicia del lector, una aplicación más del principio de relatividad: hoy se me describe en Alemania como un "sabio alemán", y en Inglaterra como un "judío suizo". Si alguna vez fuese mi destino ser visto como una *bête noire*, me convertiría en un "judío suizo" para los alemanes y un "sabio alemán" para los ingleses. [10:139]

Tocante a su vida familiar, separado desde 1914 de su primera esposa, Mileva, y divorciado de ella en 1919, ese año Einstein había contraído segundas nupcias con su prima, Elsa, viuda y madre de dos jovencitas.

En 1920, las fuerzas más reaccionarias de Alemania organizaron una campaña destinada a denigrar a Einstein, cuyas teorías fueron calificadas de judías y comunistas. Entre ellos destacaba Philipp Lenard, premio Nobel de Física de 1905, que anteriormente lo había llamado "pensador profundo y de altos vuelos", y se convirtió después en un nazi furibundo. La ola de antisemitismo que se desató por entonces en Alemania y que había de tener terribles consecuencias años después, llevó a Einstein a convertirse en denodado defensor de los hebreos perseguidos.

De todas partes llegaban invitaciones para que Einstein visitara las más variadas instituciones. Viajó por todo el mundo y en todas partes fue aclamado. El presidente estadounidense Harding lo invitó a la Casa Blanca durante su primera visita al país, que se extendió del 2 de abril al 20 de mayo de 1921 y realizó en compañía de Chaim Weizmann, con el propósito de recaudar fondos para la creación de la UNIVERSIDAD HEBREA DE JERUSALÉN. Sus conferencias, dictadas en la UNIVERSIDAD DE PRINCETON, se publicaron rápidamente en forma de libro, bajo el título *El significado de la relatividad*. A su regreso, pasó por Inglaterra, donde visitó la tumba de Newton.

Gracias a los esfuerzos de Paul Langevin, se logró vencer la oposición patrioterica francesa y Einstein pudo exponer por primera vez sus teorías en el COLLÈGE DE FRANCE, en marzo de 1922, año en que aceptó la invitación de la LIGA DE LAS NACIONES a convertirse en

miembro de su *Comité de Cooperación Intelectual*, aun cuando todavía habían de transcurrir cuatro años antes de que Alemania se incorporara a la LIGA.

Por entonces, la situación política se había agravado en Alemania, al extremo de que sus colegas evitaban sentarse junto a Einstein en las reuniones científicas. Cuán tensa le resultaba la situación puede inferirse de estas palabras extraídas de una carta suya a Planck de 5 de julio de 1922:

Varias personas que merecen ser tomadas seriamente me han aconsejado, independientemente, que no permanezca en Berlín por el momento, y especialmente que evite toda aparición en público en Alemania. Se supone que yo esté entre los que los nacionalistas han decidido asesinar. ^[10:149]

Tres meses más tarde, en octubre de 1922, embarcó hacia Japón, invitado por un editor. Mientras navegaba rumbo a ese país, llegó la noticia de que le había sido concedido el Premio Nobel de Física para 1921 "por sus servicios a la física teórica y en particular por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico". Luego de visitar Palestina y España, en junio de 1923 retornó a Alemania, donde a fines del siguiente año quedaría habilitado, en Potsdam, un observatorio astronómico a cuyo edificio, de original diseño, se le había dado el nombre de *Torre de Einstein*. Entre mayo y junio de 1925, invitado a dar conferencias en Buenos

cuantos y la *teoría del campo unificado*. Con esta última aspiraba a reunir en un solo cuerpo de doctrina científica, tanto las leyes del electromagnetismo, como las de la gravitación y del micromundo.

En aquel tiempo, el físico indio Satyendranath Bose –un desconocido entonces– le remitió para su consideración el manuscrito de un artículo suyo titulado "La ley de Planck y la hipótesis de los cuantos de luz", que había sido rechazado por la revista científica británica *Philosophical Magazine*. A Einstein le pareció muy bueno y lo tradujo del inglés al alemán para enviarlo a la revista *Zeitschrift für Physik*, acompañado la siguiente nota:

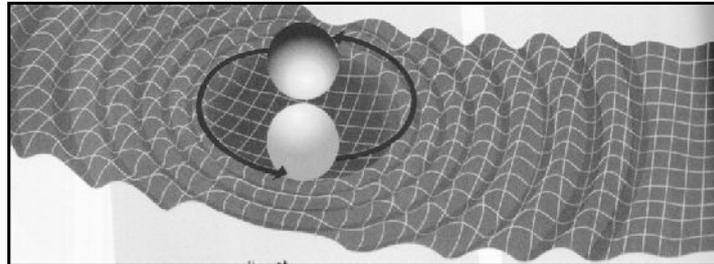
En mi opinión, la deducción de Bose de la fórmula de Planck constituye un importante adelanto. El método utilizado aquí también da la teoría cuántica del gas ideal, como discutiré en otro lugar en mayor detalle. ^[15:423]

A dicho artículo, que vio la luz poco después (en 1924), le siguieron las aportaciones de Einstein, para dar origen a la hoy llamada *estadística de Bose-Einstein*, aplicable a los gases formados por partículas indistinguibles unas de otras, que se ajusta muy bien al comportamiento de los fotones, partículas alfa, átomos de helio, etc. (Al extremo de que las partículas que obedecen a la estadística de Bose-Einstein luego se denominaron *bosones*, mientras que las demás recibieron el nombre de *fermiones*, en honor de Enrico Fermi.)

Con todo, desde 1917 (esto es, antes de conocerse los resultados del eclipse famoso) Einstein se dio a la tarea de aplicar su teoría general de la relatividad, no ya al Sistema Solar, sino al universo en su conjunto, con lo que inauguró la *cosmología relativista*. A la luz de los conocimientos astrofísicos de entonces, esto le llevó a proponer un modelo estático del universo, que fue evolucionando sucesivamente a lo largo de los años, gracias a los trabajos de W. de Sitter, A. Friedmann, G. Lemaître, el propio Einstein y otros, hasta llegar a la teoría de la *Gran Explosión*, que tomaba en cuenta la *ley de Hubble*, descubierta en 1929, según la cual las galaxias se alejan incesantemente unas de otras. El descubrimiento, en 1964, de la existencia de la *radiación cosmológica de fondo*, predicha por George Gamow en 1948, constituyó una importante evidencia a favor de la *Gran Explosión* o "*Big Bang*."

Otra consecuencia de la solución de las complicadas ecuaciones de la teoría general de la relatividad, es la posibilidad de que existan regiones del espacio capaces de "tragarse" tanto los cuerpos, como las radiaciones, y convertirse en centros de atracción gravitatoria poderosos. La revelación de la existencia de estos enigmáticos e invisibles *huecos negros* que, según la teoría general de la relatividad, resultan del colapso gravitatorio de las estrellas gigantes, constituyó la sensación de la astrofísica de su tiempo. Las *estrellas de neutrones*, también previsibles a partir de la teoría general, fueron descubiertas en 1967.

Después de fallecido Einstein, durante décadas se trabajó infructuosamente en busca de una evidencia que justificase la existencia de las *ondas gravitacionales* relativistas, cuyos efectos previsibles habían de ser muy débiles. Pero no fue hasta septiembre de 2015 que, mediante un instrumental muy sofisticado, se detectaron por primera vez ondas gravitacionales, atribuidas al choque de dos huecos negros lejanos.



Ondas gravitacionales que produciría en el continuo espacio-tiempo el encuentro de dos estrellas de neutrones, según la teoría general de la relatividad.

EL ÁTOMO INDETERMINADO

Entre 1905 y 1923, Einstein desempeñó un papel crucial en el desarrollo de la teoría cuántica, como ya hemos visto al comentar su hipótesis de los fotones, la explicación del efecto fotoeléctrico y su trabajo asociado a Bose. También elaboró una primera teoría cuántica del calor específico de los sólidos.

En 1913, el físico danés Niels Bohr propuso un modelo clásico-cuántico del átomo que fue recibido con desconfianza por la mayoría de los científicos de la época. Einstein percibió inmediatamente su importancia y lo proclamó "uno de los más grandes descubrimientos". Rápidamente, se puso a trabajar sobre la nueva idea de los niveles de energía introducida por Bohr. Aplicando argumentos probabilísticos llegó de nuevo, en forma muy sencilla, a la fórmula de Planck para el cuerpo negro. De paso, introdujo y desarrolló la idea de la *radiación estimulada* de los átomos que, varias décadas más tarde, habría de conducir a la invención del *máser* y el *láser*.

Pero las posibilidades del modelo original de Bohr eran limitadas y pronto fue sustituido por otros más fructíferos, aunque también más abstractos. En 1924, Louis de Broglie lanzó la idea de que a los electrones y a otras partículas convenía asociar ciertas ondas de naturaleza ignorada, capaces, no obstante, de "justificar" de alguna manera la existencia de las órbitas *permisibles* del átomo de Bohr. Dos años más tarde, Erwin Schrödinger desarrolló la idea hasta obtener un modelo puramente ondulatorio del átomo, que tuvo gran éxito. Como pudo demostrarse después, interpretando aquellas ondulaciones como *ondas de probabilidad* (de acuerdo con lo propuesto por Born), el modelo de Schrödinger resultaba esencialmente equivalente a la *mecánica matricial* del átomo, formulada en 1925 por Werner

Heisenberg, Wolfgang Pauli y Pascual Jordan. Esta teoría, que incluía la famosa *relación de incertidumbre de Heisenberg*, estaba destinada a revolucionar toda la física del micromundo. Más adelante, en 1929, Dirac logró aplicar la teoría especial de la relatividad al comportamiento del electrón y predecir, brillantemente, la existencia de una nueva partícula: el electrón positivo o *positrón*, que fue descubierto experimentalmente años después.

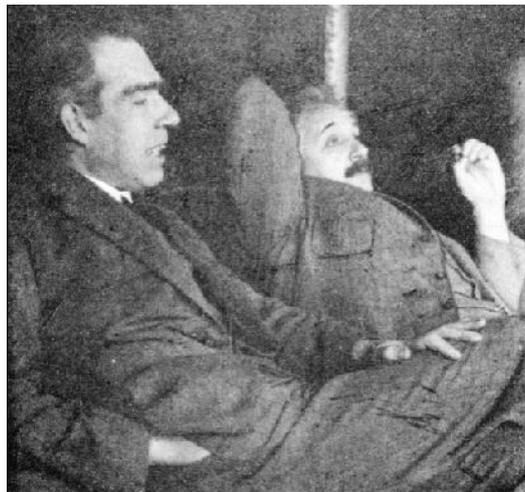
Sin embargo, las implicaciones que de la nueva teoría extraían Bohr y su "Escuela de Copenhague" –en particular, el llamado "principio de complementariedad"– repugnaban a las convicciones de Einstein, pues, según Bohr,

... debía renunciarse [...] a describir el comportamiento individual de los átomos en el espacio y en el tiempo conforme al principio de causalidad, e imaginar que la Naturaleza puede hacer entre diversas posibilidades una libre elección, que no está sometida más que a consideraciones de probabilidad. [2:4]

La polémica Bohr-Einstein sobre este asunto se mantuvo durante toda la vida de Einstein. Él siempre consideró que la *mecánica cuántica*, pese a su asombrosa fecundidad en la física, era, en el fondo, una teoría incompleta, que algún día habría de ser sustituida por una nueva síntesis más aceptable desde el punto de vista conceptual.

Ya cerca del fin de sus días, en una carta a su viejo amigo Michele Besso, fechada el 12 de diciembre de 1951, puntualizaba Einstein:

Todos estos cincuenta años de rezongar conscientemente no me han traído más cerca de la respuesta a la pregunta "¿Qué son los cuantos de luz?" Hoy día todo Tom, Dick, y Harry cree que lo sabe, pero está equivocado. [10: 187]



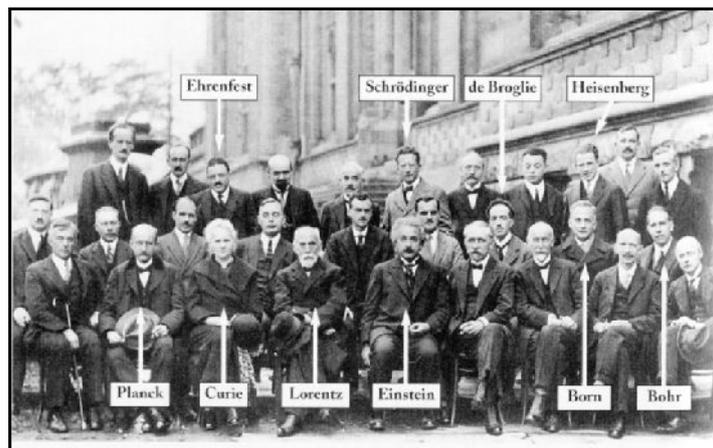
Bohr y Einstein en casa de Ehrenfest, discutiendo sobre la mecánica cuántica (Leiden, 1925).

A lo que añadió en conversaciones sostenidas con R. S. Shankland entre 1951 y 1954: [18:900]

Aquí en la mecánica cuántica, soy un hereje, como usted sabe [riéndose], pero creo que algún día se verá que son correctos mis puntos de vista. Dios no inventó las probabilidades...

El pensamiento de Bohr es claro, pero cuando comienza a escribir se hace muy oscuro y piensa que es un profeta.

La solución final correcta tiene que comenzar con la relatividad general.



Participantes en la *Conferencia Solvay* de 1927, en Bruselas.

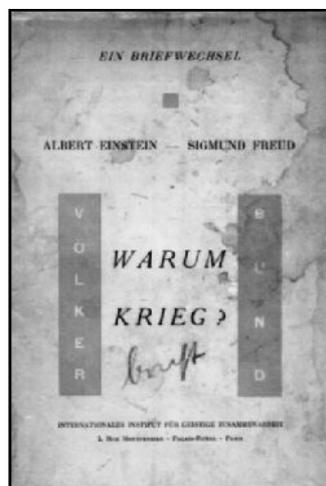
Contrariamente a lo que pudiera parecer a primera vista, dadas las intensas actividades tanto científicas

como sociales que lo absorbieron entre 1914 y 1932, Einstein fue un miembro activo y disciplinado de la ACADEMIA DE CIENCIAS PRUSIANA durante aquel período. Hasta 1920, solamente dejó de asistir a sus sesiones por razón de enfermedad. Posteriormente mantuvo el mismo comportamiento, si bien sus ausencias del país se hicieron más frecuentes y prolongadas. Impartía cursos universitarios en Berlín y presidía algunas instituciones científicas, entre ellas, el INSTITUTO EINSTEIN, que se estableció en los predios del observatorio de Potsdam.

Como dato interesante, cabe anotar que entre 1927 y 1930, asociado a Leo Szilard –un joven ex alumno de Von Laue– Einstein formuló varias solicitudes de patente de invención relativas a una máquina de enfriamiento a base de un refrigerante metálico en estado líquido, impulsado por un campo magnético variable, idea que se puso en práctica en reactores nucleares a partir de 1947, lo cual permite incluir a ambos inventores entre los fundadores de una importante técnica contemporánea: la *magnetohidrodinámica aplicada*.

A propósito de aquella época, no está de más recordar que, en diciembre de 1930, durante su breve estancia en La Habana, de paso para el INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE CALIFORNIA en calidad de *Profesor Invitado*, Einstein escribió en el "Libro de Oro" de la SOCIEDAD GEOGRÁFICA DE CUBA:

La primera sociedad verdaderamente universal fue la sociedad de los investigadores. Ojalá pueda la generación venidera establecer una sociedad económica y política que evite con seguridad las catástrofes. [1]



IZQUIERDA: Folleto publicado en 1930 en París, titulado *¿Por qué la guerra?* con el texto de cartas sobre el asunto intercambiadas entre Albert Einstein y Sigmund Freud. **DERECHA:** Anuncio de la conferencia titulada "Lo que debe saber el trabajador sobre la Teoría de la Relatividad", que daría Einstein el 26 OCT 1931 en la Escuela Marxista de Trabajadores de Berlín. [11:435]

En medio de la crisis capitalista mundial de los años treinta, que castigaba entonces con particular crudeza a Alemania, debían celebrarse las elecciones a la *Dieta Imperial* en las que los demagogos nazi-fascistas, apadrinados por los grandes monopolios germanos, amenazaban con hacerse del poder. El peligro era tan real que Einstein decidió unir su firma a las del novelista Heinrich Mann y la artista Käthe Kollwitz en una carta abierta de 17 de junio de 1932, dirigida al máximo líder del Partido Comunista Alemán, Ernst Thälmann, al dirigente sindical Theodor Leipart y al presidente del grupo parlamentario socialdemócrata en el *Reichstag*, Otto Wels, donde se decía:

Los abajo firmantes seguimos el desarrollo de los acontecimientos políticos con la impresión de que nos encaminamos hacia el terrible peligro de la fascistización. En nuestra opinión, este peligro debe eliminarlo una acción conjunta en la campaña electoral de los grandes partidos obreros. El mejor modo de lograr tal acción es mediante la presentación de candidatos comunes. Señalamos con la mayor energía que la responsabilidad la tienen los dirigentes. Hay que decidirse a pedirles públicamente a los trabajadores que se mantengan unidos. Esta decisión es de vital importancia para todo el pueblo. ^[13:223]

Desgraciadamente, la unidad de la clase obrera en aquellos momentos críticos no llegó a cristalizar, debido principalmente al irreductible sectarismo de la dirigencia.

El ascenso de Adolf Hitler al poder en Alemania en enero de 1933 sorprendió al sabio en California, donde se enteró que su casita de verano, ubicada en un pueblecito cerca de Potsdam, había sido asaltada el 20 de marzo so pretexto de encontrar allí armas supuestamente ocultas por el Partido Comunista. En son de protesta, Einstein anunció públicamente que no regresaría a tierra germánica, y a su arribo a Amberes, el 28 de marzo de 1933, renunció a su condición de miembro de la ACADEMIA DE CIENCIAS PRUSIANA y también a la ciudadanía alemana. Acompañado de su esposa, se instaló en la pequeña población de Le Coq-sur-mer, acogiéndose así al asilo brindado por el rey de Bélgica, que incluía la necesaria protección personal, pues los nazis habían puesto precio la cabeza de Einstein. Aprovechó su estancia para hacer breves visitas a Londres (donde participó en varios eventos científicos y se entrevistó privadamente con Winston Churchill) y a Suiza (donde se reunió con su hijo Eduard, por última vez).

Por aquel entonces, hizo una declaración que molestó a los pacifistas ingenuos de todo el mundo porque incluía estas palabras:

Si fuera belga, yo no rehusaría el servicio militar, dadas las presentes circunstancias; más bien, lo aceptaría con júbilo, en la seguridad de que así estaría ayudando a salvar la civilización europea. [10:170]

En compañía de su esposa, su secretaria Helen Dukas y su colaborador Walther Mayer, Einstein arribó a los EE.UU. el 17 de octubre de 1933, procedentes de Inglaterra.

PRINCETON Y LOS ÚLTIMOS PASOS

El mismo día de su llegada a los Estados Unidos, Einstein pasó al recién fundado INSTITUTO DE ESTUDIOS AVANZADOS de Princeton, en los Estados Unidos, cuyo acogedor ambiente iba a servir de marco a toda su actividad por el resto de su vida. Ciudadano estadounidense desde el 1 de octubre de 1940, trabajó denodada y hasta ferozmente, si se quiere, en su intento de crear una *teoría del campo unificado* satisfactoria. "Solo un monomaniaco obtiene eso que llamamos 'resultados' ", declaró Einstein; pero en este su último empeño grandioso no llegó a conocer el éxito que le había sonreído tantas otras veces. "Los grandes descubrimientos –decía ya en 1921– son para la gente joven [...] y por tanto, son para mí cosa del pasado. [10:222]

Por lo demás, como sus puntos de vista no eran compartidos por la abrumadora mayoría de los físicos, se quedó prácticamente solo en su labor científica.

En carta a Max Born, partidario de un enfoque que combatía por considerarlo positivista, escribió en 1949:

... nuestras respectivas chifladuras nos llevan por caminos irremediabilmente divergentes, aunque el tuyo goza de mayor popularidad por sus mayores éxitos en la práctica, mientras que el mío huele algo a quijotismo y yo mismo no me atrevo a defenderlo con toda confianza. Pero al menos no es jugar a la gallinita ciega con la realidad, cosa que me repugnaría por naturaleza. [9:227]

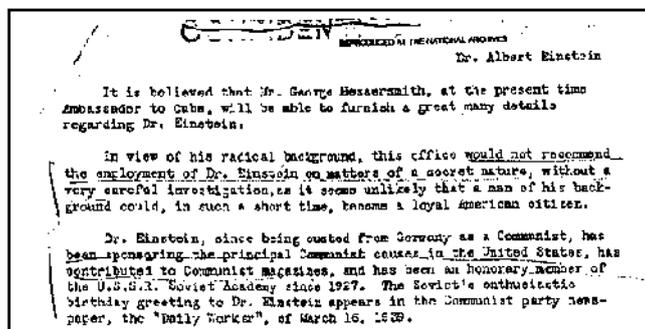
Y el 12 de abril del mismo año:

...tengo poca influencia; me consideran petrificado porque con los años me he quedado sordo y ciego. No me importa mucho, ya que va bastante de acuerdo con mi temperamento. [9:229]

Empero, por alguna razón, el nombre de Einstein conservó siempre su mágico atractivo para el gran público. Esto le permitió ayudar a salvar de los campos de exterminio nazis a muchas personas, y conseguirles trabajo a numerosos científicos e intelectuales emigrados.

En agosto de 1939, a instancias de algunos colegas que le traían noticias alarmantes sobre las investigaciones nucleares que se estaban realizando en Alemania nazi, le dirigió al presidente Roosevelt una famosa carta, en la cual, a la vez que explicaba la situación, reclamaba "vigilancia y, si es necesario, rápida acción por parte de la Administración" con respecto a la fabricación de la

bomba atómica. Como se sabe, el terrible artefacto nuclear lanzado, casi inmediatamente después de creado, sobre un Japón a punto de capitular, desencadenó una peligrosísima carrera internacional de armas nucleares, contra la cual Einstein se involucró a fondo hasta el fin de sus días.



Fragmento de un documento confidencial remitido en 1940 a la Inteligencia Militar estadounidense, donde se recomienda que no se le dé empleo a Einstein en asuntos de carácter secreto porque se considera "improbable que un hombre de sus antecedentes, en tan corto plazo, se convierta en un ciudadano americano leal." A lo que se añade que, "desde que fue expulsado de Alemania por comunista, Einstein ha venido patrocinando las principales causas comunistas en los Estados Unidos, ha contribuido a revistas comunistas, y ha sido miembro de la Academia de Ciencias Soviética de la U.R.S.S. ...", etc. [11:438]

Otro acontecimiento impactante asociado al primer año de la posguerra fue el súbito incremento de la violencia racista en los Estados Unidos, que Einstein enfrentó activamente.

Hay [...] un punto sombrío en la actitud de los norteamericanos—escribió en 1946—. Su sentido de la igualdad y la dignidad humanas se limita fundamentalmente a los hombres de piel blanca. Incluso entre estos hay prejuicios de los cuales yo, como judío, tengo clara conciencia; pero que carecen de importancia en comparación con la actitud de los "blancos" hacia sus conciudadanos de compleción más oscura, particularmente hacia los negros. Mientras más norteamericano me siento, más me duele esta situación. Solo denunciándola puedo escapar al sentimiento de complicidad con ella. [...] Creo que quienquiera que trate de pensar honestamente las cosas no tardará en reconocer cuán indigno y aun fatal es el prejuicio tradicional contra los negros. ^[7:132-134]

Con la segunda posguerra, llegó la "Guerra Fría".

Me he convertido en *enfant terrible* en mi nueva patria —escribe en 1954 a la Reina Madre de Bélgica— por mi incapacidad para mantenerme callado y tragarme lo que pasa aquí. ^[10:245]

Y, por otra parte, aunque repudiaba decididamente los excesos dictatoriales estalinistas, no ocultaba su aversión al régimen capitalista:

Estoy convencido —escribió en 1949— de que hay solamente *una* manera de eliminar [los graves males del capitalismo], que es a través de establecimiento

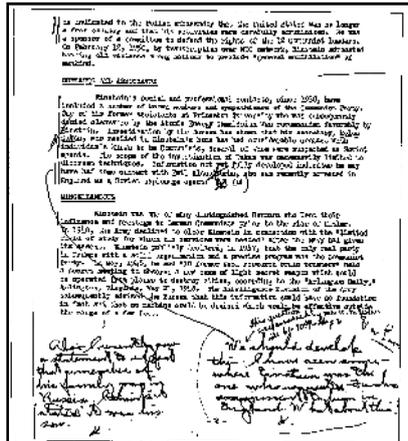
de una economía socialista, acompañada de un sistema de educación orientado hacia fines sociales. [8:158]

Dados su renombre y sus conocidas posiciones liberales y no conformistas, algunos se volvieron hacia Einstein para pedirle apoyo con objeto de detener la amenazante ola fascista, cuando comenzó la histeria de las persecuciones contra los elementos progresistas estadounidenses, en la época del "macartismo". De aquellos tiempos es esta famosa declaración suya, publicada en el *New York Times* el 12 de junio de 1953:

Todo intelectual que sea llamado ante uno de los comités debe negarse a testificar, es decir, que tiene que estar preparado para la cárcel y la ruina económica, en dos palabras, para el sacrificio de su bienestar personal en aras del bienestar cultural de su país. [8:34]

En general, las posiciones políticas de Einstein fueron liberales y progresistas, ingenuas más de una vez, e incluso contradictorias y equivocadas en ocasiones, pero siempre honestas.

En una larga vida –declaró en 1954–, he dedicado todas mis facultades a alcanzar una comprensión algo más profunda de la estructura de la realidad física. Nunca he hecho esfuerzo sistemático alguno para mejorar a la humanidad, combatir la injusticia y la supresión, y mejorar las formas tradicionales de las relaciones humanas. Lo único que hice fue esto: a largos intervalos he expresado una opinión sobre



Página del expediente del FBI sobre Einstein, fechado el 15 ABR 1950, con anotaciones del jefe del FBI, J. Edgar Hoover, instando a chequear una posible conexión de Einstein con Klaus Fuchs, el físico alemán arrestado por espionaje atómico en Gran Bretaña, y si un miembro de la familia de Einstein estaba en Rusia. [11:437]

Einstein se consideraba, a su manera, fundamentalmente comprometido con la sociedad, como ponen de relieve las siguientes palabras de una intervención suya de 15 de octubre de 1936, en ocasión de celebrarse el tercer centenario de la educación superior en Norteamérica:

...guardémonos de predicarle al joven la prosperidad en el sentido habitual como objetivo de la vida. Porque un individuo próspero es el que recibe mucho de su prójimo –generalmente muchísimo más de lo que corresponde al servicio que le presta–, mientras que el valor de un hombre debe verse en lo que da y no en lo que recibe. [8:62]

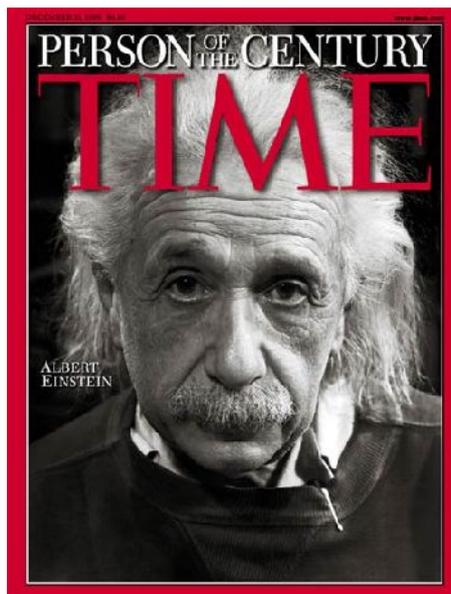
Aquejado de un fuerte dolor inguinal, el 15 de abril de 1955 Einstein fue hospitalizado y al día siguiente, su hijo Hans Albert (entonces profesor de ingeniería hidráulica de la UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA en Berkeley) vino a verlo inmediatamente. Su muy amigo, el economista Otto Nathan, hizo lo mismo desde Nueva York. El día 17 se sintió algo mejor y le pidió por teléfono a su secretaria, Helen Dukas, que le trajera sus espejuelos, papel y lápiz para anotar unos cálculos que estaba realizando. Pero falleció en la madrugada del 18 de abril, a consecuencia de la rotura del aneurisma de la aorta que padecía.

Su hija política, Margot, describió así la última visita que, días antes, le había hecho en su lecho de enfermo, en el hospital de Princeton donde se encontraba:

Al principio no lo reconocí... tanto había cambiado por los dolores y lo exangüe del rostro. Pero su modo de ser era el mismo de siempre. Se alegró de ver que yo iba algo mejor, bromeó conmigo y en todo estuvo por encima de su estado; hablaba con gran tranquilidad y serenidad –y aun con un poquito de humorismo– de los médicos y esperaba su fin como un suceso natural e inminente. Con el mismo valor que tuvo siempre, esperó su muerte humilde y calladamente. Se marchó de este mundo sin sentimentalismos ni lamentaciones. [9:290]

A petición de algunos médicos investigadores, Einstein había aceptado que, al morir, les fuera entregado su cerebro para estudiarlo. También había dispuesto que el resto de su cuerpo fuese incinerado y luego se hiciesen desaparecer las cenizas.

Con respeto, pero sin ceremonias, un amigo cercano echó las cenizas al río, cerca de Trenton, Nueva Jersey. En cuanto al cerebro, parece que los investigadores no lograron hallar nada verdaderamente revelador desde el punto de vista anatómico.



Albert Einstein presentado como "Persona del siglo" en la cubierta del número del 31 DIC 1999 de la revista *Time*.

Albert Einstein
 ¿Por qué socialismo? Artículo publicado originalmente en *Monthly Review*, New York, mayo 1949.

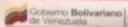
“Considero esta mutilación de los individuos el peor mal del capitalismo. Nuestro sistema educativo entero sufre de este mal. Se inculca una actitud competitiva exagerada al estudiante, que es entrenado para adorar el éxito codicioso como preparación para su carrera futura.

Estoy convencido de que hay solamente un camino para eliminar estos graves males, el establecimiento de una economía socialista, acompañado por un sistema educativo orientado hacia metas sociales. En una economía así, los medios de producción son poseídos por la sociedad y utilizados de una forma planificada. Una economía planificada que ajuste la producción a las necesidades de la comunidad, distribuiría el trabajo a realizar entre todos los capacitados para trabajar y garantizaría un sustento a cada hombre, mujer y niño.

La educación del individuo, además de promover sus propias capacidades naturales, procuraría desarrollar en él un sentido de la responsabilidad para sus compañeros-hombres en lugar de la glorificación del poder y del éxito que se da en nuestra sociedad actual”

A. Einstein

Educación Superior para el Poder Popular




Cartel publicado por el MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR de Venezuela, con textos del artículo de Einstein titulado "¿Why socialism?", publicado originalmente en el número de mayo de 1949 de la revista estadounidense *Monthly Review*.

REFERENCIAS

- [1] ALTSHULER, J. (1993): *Las 30 horas de Einstein en Cuba / Einstein's 30 hours in Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 15 pp.
- [2] BOHR, N. (1932): *La théorie atomique et la description des phénomènes*. Gauthier-Villars et Cie, París, v+112 pp.
- [3] DIRAC, P.A.M. (1979): The excellence of Einstein's theory of gravitation. *Impact of Science on Society*, 29 (1, ENE-MAR):11-14.
- [4] EINSTEIN, A. (1905): On the electrodynamics of moving bodies. En [14:35-65]
- [5] ----- (1905): Does the inertia of a body depend upon its energy content? En [14:67-71]
- [6] ----- (1916): The foundation of the general theory of relativity. En [14: 108-164]
- [7] ----- (1950): *Out of my later years*. Thames and Hudson, Londres, viii+282 pp.
- [8] ----- (1954): *Ideas and opinions by Albert Einstein*. Crown Publishers Inc., Nueva York, vii+377 pp.
- [9] ----- y BORN, M. & H. (1973): *Correspondencia (1916-1955)*. Siglo XXI editores, S.A., México, D.F., v+307 pp.
- [10] HOFFMANN, B. [& DUKAS, H.] (1975): *Albert Einstein*. Paladin, Frogmore, St. Albans, Herts., xv+272 pp.

- [11] HOFFMANN, D. (2005): Einstein's political file. En RENN, J. [Ed.] (2005): *Albert Einstein-One hundred authors for Einstein*, 434-439. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. y Max Planck Institute for the History of Science, Berlín, 472 pp.
- [12] INFELD, L. (1942): *Quest. The evolution of a scientist*. Readers Union Ltd & Victor Gollanz Ltd, Herts., v+272 pp.
- [13] KIRSTEN, C. y TREDER, H.-J. (1979): *Albert Einstein in Berlin 1913-1933. (Teil I: Darstellung und Dokumente)*. Akademie-Verlag, Berlín, 288 pp.
- [14] LORENTZ, H.A., EINSTEIN, A., MINKOWSKI, H. y WEYL, H. (1923): *The principle of relativity*. Methuen and Co., Londres & Dover publications, Inc., USA, 216 pp.
- [15] PAIS, A. (1982): *Subtle is the Lord... -The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press, Oxford, xvi+552 pp.
- [16] RENN, J. [Ed.] (2005): *Albert Einstein-Einstein's life and work in context*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. y Max Planck Institute for the History of Science, Berlín., 256 pp.
- [17] SEGRÈ, E. (1980): *From X-rays to quarks. Modern physicists and their discoveries*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, x+337 pp.
- [18] SHANKLAND, B.S. (1973): Conversations with Albert Einstein. II. *American Journal of Physics*, 4(7/ JUL): 895-901.
- [19] WHITTAKER, E. (1953): *A history of the theories of aether and electricity (The modern theories, 1900-1926)*. Thomas Nelson and Sons Ltd, Londres. xi+320 pp.