

Albert Einstein

SU VIDA,
SU OBRA
Y SU MUNDO

José Manuel
Sánchez Ron

Albert Einstein

SU VIDA, SU OBRA Y SU MUNDO

José Manuel Sánchez Ron

Extracto del libro:

Prefacio.....	IX - X
Índice.....	XI - XIII
Capítulo 15: Fama mundial. El eclipse de Sol de 1919 y la desviación de los rayos de luz.....	301-307
Epílogo: El “personaje del siglo XX”.....	441-447

Primera edición: noviembre de 2015

Albert Einstein: su vida, su obra y su mundo

José Manuel Sánchez Ron

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

© José Manuel Sánchez Ron

© Fundación BBVA, 2015

Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao
www.bbva.es

© Editorial Planeta S. A., 2015

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN (Planeta): 978-84-9892-897-6

ISBN (Fundación BBVA): 978-84-92937-62-2

Depósito legal: B. 24.121 - 2015

2015. Impreso y encuadernado en España por Unigraf

PREFACIO

Mi primer libro, con el que verdaderamente comencé mi carrera de historiador de la ciencia, aunque entonces todavía la compatibilizaba con la de físico, se publicó en 1983 y se titulaba *El origen y desarrollo de la relatividad* (Sánchez Ron, 1983). Treinta y dos años más tarde, y después de haber publicado no pocos artículos sobre distintos apartados de la historia de las teorías especial y general de la relatividad, vuelvo al tema en forma de libro, pero desde una perspectiva mucho más amplia y completa, que no se restringe a las teorías de la relatividad, pretendiendo abarcar toda la obra de Einstein, al igual que su biografía, entendida de la manera más amplia posible.¹ En todos esos años, he aprendido bastante, consecuencia no sólo de mis propios estudios sino de que la bibliografía sobre Einstein ha crecido de manera sustancial, estando además disponibles en la actualidad materiales ausentes en la década de 1980 (mención especial se debe al proyecto, en marcha, de la publicación, a cargo de Princeton University Press, de los *Collected Papers of Albert Einstein*, de los que hasta la fecha, 2015, han aparecido catorce volúmenes, cubriendo el periodo que va del nacimiento de Einstein hasta mayo de 1925).²

Las teorías especial y general de la relatividad ya no son el único foco de este libro, frente al de 1983. Me ocupo también de los trabajos de Einstein en física cuántica, campo del que fue uno de sus fundadores, al igual de los que llevó a cabo después de crear la teoría de la relatividad general, realizados en la parte de su vida científica menos llamativa. Y todo engranado en su biografía, contemplada no sólo en el ámbito individual, sino en el contexto general del mundo en el que vivió, un mundo en el que tuvieron lugar dos guerras mundiales.

Como sucede en cualquier cambio profundo, para comprenderlo es preciso conocer lo que había antes. En el caso de la física que produjo Albert Einstein, para entenderla realmente es imprescindible poseer algunas ideas de la física anterior a él, de la denominada «física clásica», de sus contenidos y de los problemas que surgieron en ella a finales del siglo XIX. Los dos primeros capítulos ofrecen un resumen de los dos pilares fundamentales de esa física clásica, la dinámica de Isaac Newton y la electrodinámica de James Clerk Maxwell. Ambas son absolutamente esenciales para comprender la génesis de la teoría de la relatividad especial, que modificó radicalmente conceptos, como los de espacio y tiempo absolutos, sobre los que asentó Newton su dinámica. Por lo que se refiere a la teoría de la relatividad general, no es posible entender su origen al margen de la teoría de la relatividad especial y de la teoría newtoniana de la gravitación universal. Y con respecto a la física cuántica, surgió como respuesta a agudos problemas que plagaban toda la física clásica, en especial la teoría electromagnética.

Sucede, además, que el presente año, 2015, constituye un magnífico momento para publicar este libro, ya que el 25 de noviembre se cumplen cien años de la presentación definitiva de la teoría de la relatividad general, para algunos —entre los que me encuentro—, la construcción teórica más original de toda la historia de la ciencia.

Si todo autor de un libro, al menos la gran mayoría de ellos, es deudor de numerosos apoyos con los cuales, y sobre los cuales, construyó su obra, mucho más sucede en el caso de un texto cuya historia temporal es tan dilatada como la de éste. Quiero recordar y

agradecer la ayuda que me han prestado, con sus enseñanzas, conversaciones, trabajos y ejemplos, Paul Forman, Thomas Glick, Peter Havas (que desgraciadamente ya no se encuentra entre nosotros), József Illy, Lewis Pyenson, John Stachel y Jürgen Renn. A mi querido amigo Juan Fernández Santarén, le agradezco su ayuda con las ilustraciones (desgraciadamente, en agosto, cuando este libro ya estaba componiéndose, Juan falleció inesperadamente); a mi editora Carmen Esteban por su, como siempre, magnífica disposición y paciencia; a la Fundación BBVA y a su director, Rafael Pardo, por acoger con tanto cariño la idea de este libro, ayudando generosamente en su edición. Y, muy por encima de todos, a mi esposa y compañera de ya casi una vida, Ana, que junto a mis hijas, Mireya y Amaya, me han alegrado y alegran la vida, haciéndome pensar que merece la pena vivirla.

ÍNDICE

1. LA «FÍSICA CLÁSICA» (I): LA DINÁMICA DE NEWTON.....	2
Fuerzas de acción a distancia.....	6
Espacio y tiempo absolutos.....	7
Sistemas de referencias inerciales y transformación de Galileo.....	9
Equivalencia de la masa inercial y la masa gravitacional.....	11
2. LA «FÍSICA CLÁSICA» (II): LA ELECTRODINÁMICA DE MAXWELL.....	14
Recepción de la teoría electromagnética de Maxwell.....	20
3. LA CRISIS DE LA FÍSICA CLÁSICA.....	24
La aberración estelar y el «coeficiente de arrastre» de Fresnel.....	25
El experimento de Michelson y Morley.....	29
Otros problemas para la física clásica: rayos X y radiactividad.....	34
Problemas «atómicos»: estructura atómica, espectroscopia y radiación de un cuerpo negro.....	37
4. HENDRIK A. LORENTZ.....	44
La teoría del electrón.....	46
Las transformaciones de Lorentz (1892).....	50
Contracción de longitudes: Fitzgerald y Lorentz.....	55
Las transformaciones de Lorentz (1895).....	60
Las transformaciones de Lorentz (1904).....	62
5. LARMOR Y POINCARÉ.....	68
Woldemar Voigt.....	69
Joseph Larmor.....	70
Henri Poincaré, un matemático polifacético.....	72
6. ALBERT EINSTEIN (1879-1905).....	80
La familia Einstein y la industria electrotécnica.....	83
De Múnich a Zúrich, Vía Pavía.....	85
Mileva Maric.....	93
Lieserl, la hija perdida de Maric y Einstein.....	98
Berna: experto de tercera clase en la Oficina de la Propiedad Intelectual y nuevos amigos.....	102
Matrimonio con Mileva Maric.....	108
La física y los maestros de Einstein vistos a través de sus cartas a Maric.....	110
7. LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD.....	114
El contexto del descubrimiento: influencias sobre Einstein.....	117
Ernst Mach.....	119
David Hume.....	123

El problema fundamental para Einstein.....	125
El contenido de «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento».....	131
De «Electrodinámica de los cuerpos en movimiento» a «Teoría de la relatividad».....	139
La relatividad especial, una teoría «de principios».....	141
8. MINKOWSKI: DEL ESPACIO AL ESPACIO-TIEMPO.....	144
El sentido geométrico de Minkowski.....	146
Minkowski en Gotinga.....	147
Del espacio al espacio-tiempo.....	154
La teoría del mundo absoluto.....	158
9. LA RECEPCIÓN DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL.....	160
Reacciones en Alemania.....	161
Gran Bretaña.....	166
La respuesta a la relatividad especial en Francia y Estados Unidos.....	172
10. CONTRIBUCIONES A LA FÍSICA CUÁNTICA.....	176
Einstein y la cuantización de la radiación (1905).....	177
Einstein y el efecto fotoeléctrico.....	183
Cuantos y calores específicos.....	185
De la Oficina de Patentes de Berna a la Universidad de Zúrich.....	187
Einstein sobre la dualidad onda-corpúsculo (1909).....	188
¿Una teoría clásica para los cuantos?.....	189
El Consejo Solvay de 1911.....	192
11. EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA.....	198
El artículo del <i>Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik</i> de 1907.....	199
El valor heurístico del principio de equivalencia.....	202
12. CATEDRÁTICO EN PRAGA (1910-1912).....	204
La gravitación vuelve a escena.....	209
Max Abraham, Gunnar Nordström y la gravitación.....	214
El problema del disco que gira.....	218
Adiós a Praga.....	227
Exposición de razones para abandonar Praga.....	230
13. ZÚRICH (1912-1914): GRAVITACIÓN Y GEOMETRÍA NO EUCLIDEA.....	232
Geometría riemanniana para una teoría relativista de la gravitación.....	233
La geometría riemanniana.....	234
El <i>Entwurf</i> de Einstein y Grossmann.....	238
Problemas personales, divorcio y nuevo matrimonio.....	245
Oferta de Berlín.....	253
14. BERLÍN (1914-1918): FÍSICA Y POLÍTICA.....	256
Ciencia en Berlín, hacia 1914.....	257
Testigo y protagonista de la primera guerra mundial.....	261
Noviembre de 1915.....	268
Sobre el papel de las matemáticas en la física.....	273

Una coincidencia tramposa: Einstein, Hilbert y las ecuaciones del campo gravitacional.....	275
Karl Schwarzschild y su solución de las ecuaciones del campo gravitacional.....	282
La recepción de la relatividad general.....	285
La cosmología relativista.....	291
Más física cuántica: las transiciones atómicas.....	298
15. FAMA MUNDIAL.....	300
El eclipse de Sol de 1919 y la desviación de los rayos de luz.....	301
Ondas y radiación gravitacional.....	312
Baño de multitudes: viaje a Estados Unidos (1921).....	314
Einstein e Israel.....	317
Entre dos aguas: Einstein en un mundo político y científico dividido.....	320
Conferenciante solicitado.....	329
Helen Dukas y Caputh.....	337
Relatividad y filosofía.....	340
16. TEORÍAS DEL CAMPO UNIFICADO Y FÍSICA CUÁNTICA.....	348
Einstein, crítico de la relatividad general.....	349
Generalizaciones matemáticas en la búsqueda de una teoría del campo unificado.....	352
Las filosofías de Einstein.....	362
La atracción de las matemáticas.....	368
Nuevas contribuciones a la física cuántica: la estadística de Bose-Einstein.....	371
Crítico de la mecánica cuántica.....	374
El dios y la religión de Einstein.....	382
17. EL ÚLTIMO VIAJE: DE BERLÍN A PRINCETON.....	384
Einstein y el régimen de Hitler.....	385
Problemas en Estados Unidos.....	401
El descubrimiento de la fisión del uranio.....	407
Einstein escribe a Roosevelt.....	411
Todavía un científico productivo.....	419
Los ayudantes de Einstein en Princeton.....	420
Einstein, Podolsky y Rosen.....	423
Lentes gravitacionales.....	429
Einstein y la noción de «singularidad».....	430
Ecuaciones de movimiento en relatividad general.....	433
La leyenda se hace memoria: la muerte de Einstein.....	436
Epílogo.....	440
El «personaje del siglo XX».....	445
Notas.....	448
Bibliografía.....	462
Índice onomástico.....	480

CAPÍTULO 15

FAMA MUNDIAL

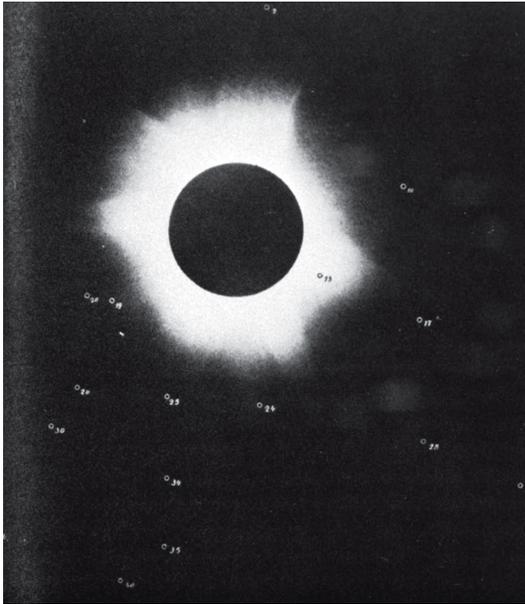
EL ECLIPSE DE SOL DE 1919 Y LA DESVIACIÓN DE LOS RAYOS DE LUZ

El 6 de noviembre de 1919 tuvo lugar en el edificio Burlington House de Londres, muy cerca de Piccadilly Circus, una reunión conjunta de la Royal Society y la Royal Astronomical Society.¹ Una numerosa audiencia, formada principalmente por los miembros de ambas sociedades científicas, se reunieron bajo la presidencia de J. J. Thomson, presidente de la sociedad, *master* del Trinity College de Cambridge desde marzo de 1918, que había dejado la dirección del Laboratorio Cavendish (le sustituyó Ernest Rutherford) hacía pocos meses. Alfred North Whitehead (1946: 13), el distinguido matemático y filósofo (autor, junto a Bertrand Russell, del monumental y, a la postre, fallido *Principia Mathematica*) que asistió a aquella reunión —él mismo era *fellow* de la Royal Society—, describió años más tarde el entorno que la rodeó:

Todo el ambiente de tenso interés era exactamente el clima propio de un drama griego: nosotros éramos el coro comentando el decreto del destino revelado en el desarrollo de un incidente supremo. Había una cualidad dramática en la misma representación: el ceremonial tradicional y, en el trasfondo, el retrato de Newton para recordarnos que la mayor de las generalizaciones científicas iba a recibir ahora, después de más de dos siglos, su primera modificación.

La reunión se había convocado para comunicar los resultados de las observaciones realizadas por una expedición científica británica a la isla Príncipe, en África, y a Sobral, en el norte de Brasil, con motivo del eclipse de Sol del 29 de mayo. La idea de la expedición había surgido de Frank Dyson, el Astrónomo Real inglés: «En marzo de 1917 —señaló su biógrafa, Margaret Wilson (1951: 191)—, cuando la situación de la guerra todavía parecía desesperada y la posibilidad de enviar expediciones para observar eclipses en el extranjero a duras penas se podían contemplar, Dyson llamó la atención al hecho de que el eclipse del 29 de mayo de 1919 bien podría tener una importancia única, ya que podría proporcionar la oportunidad de comprobar la teoría de la relatividad de Einstein, que si se dejase pasar podría no volver a tener lugar de nuevo en casi veinte años. A lo largo de 1918, siguió adelante con todos los preparativos necesarios. Como *chairman* del Comité Conjunto Permanente para Eclipses de la Royal Society y de la Royal Astronomical Society, él fue el espíritu motriz del proyecto».

La expedición, a la que se sumó Arthur Eddington, se planeó, efectivamente, para comprobar si se verificaba la predicción de la relatividad general que anunciaba que los rayos de luz interactúan con los campos gravitatorios y que, por tanto, debería producirse una curvatura —de magnitud 1,75 segundos de arco— en las proximidades de la superficie del Sol, de los rayos de luz provenientes de una estrella, el Sol en este caso.² Para ello era imprescindible un eclipse total de Sol: al ocultar la Luna la luz solar, sería posible observar las estrellas cercanas al disco solar, al menos las más luminosas; por la curvatura de los rayos procedentes de las estrellas y por la observación los astrónomos fijar la posición como si esos rayos llegasen a lo largo de líneas rectas, las fotografías que se tomaran durante la totalidad darían una



Fotografía del eclipse de Sol del 29 de mayo de 1919.

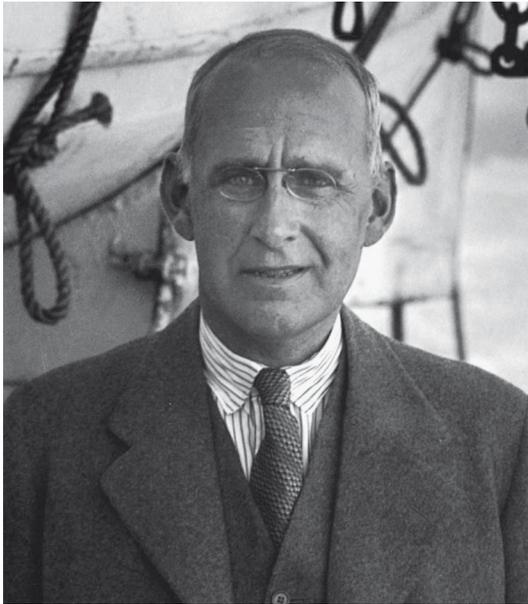
situación de las estrellas diferentes a las que se midieran cuando el Sol no estuviese presente. Los resultados que obtuvieron favorecían la teoría de Einstein.

El propio Eddington explicó algunos detalles de la expedición en un capítulo de un libro colectivo, *Background to Modern Science*, coordinado por el bioquímico e historiador de la ciencia y tecnología china Joseph Needham y el médico e historiador de la medicina Walter Pagel (Eddington, 1938, 1945: 114-116):

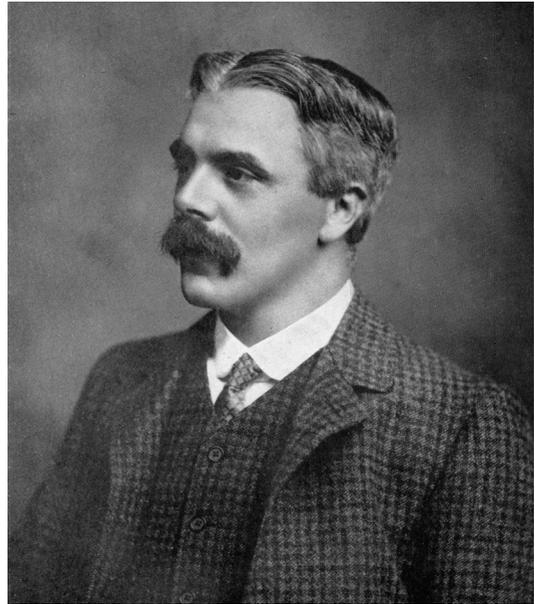
Deseo dedicar los pocos minutos que restan al acontecimiento más impresionante en que recuerdo haber intervenido en Astronomía, a saber: la comprobación de la predicción de Einstein sobre la desviación de la luz en el eclipse de 1919. Las circunstancias

eran excepcionales. Los preparativos se habían iniciado en 1918, durante la guerra, y hasta última hora no se tenía certeza de si habría alguna posibilidad de que pudiesen emprenderse las expediciones, pero convenía mucho no desperdiciar el eclipse de 1919, porque tenía lugar en un campo estelar excepcionalmente bueno; ninguna de las expediciones subsiguientes han tenido esta ventaja. En Greenwich se organizaron dos expediciones por sir Frank Dyson, el difunto Astrónomo Real: una debía ir a Sobral, en Brasil, y la otra a la isla de Príncipe, en África Occidental. Fue imposible obtener ningún trabajo hecho por los fabricantes de instrumentos hasta después del armisticio y, como las expediciones debían partir en febrero, la preparación fue una locura. El grupo de Brasil tuvo un tiempo perfecto para el eclipse; debido a circunstancias accidentales, sus observaciones no pudieron ser analizadas hasta meses más tarde, pero al fin ofrecieron la confirmación más concluyente. Yo fui a la isla de Príncipe; allí, el día del eclipse se presentó con lluvia y cielo cubierto de nubes. Casi perdimos toda esperanza. Cerca de la totalidad, el Sol empezó a brillar débilmente y nosotros cumplimos con el programa previsto esperando que las condiciones pudieran no ser tan malas como parecían. La nube debió de haberse disipado antes del fin de la totalidad, porque entre varios fracasos obtuvimos dos placas que presentaban las deseadas imágenes de las estrellas. Éstas fueron comparadas con las placas ya impresionadas por el mismo campo estelar en un momento en el que el Sol estaba en otra parte, de tal modo que la diferencia indicaba el aparente desplazamiento de las estrellas, debido a la desviación de los rayos de luz al pasar cerca del Sol.

Tal como el problema se nos presentaba, había tres posibilidades. Podía no haber en absoluto desviación, esto es, la luz podía no estar influida por la gravitación. Podía haber una *media desviación*, significando que la luz estaba sujeta a la gravitación, como Newton había sugerido, y



Arthur Eddington.



Frank Dyson.

obedecía por tanto a la simple ley newtoniana.³ O podía haber una completa desviación, confirmando así la ley de Einstein, en lugar de la de Newton. Recuerdo a Dyson explicando todo esto a mi compañero [Edwin Turner] Cottingham, quien sacó, como idea principal, que cuanto mayor fuese el resultado, más sensacional sería. «¿Qué significará si obtenemos el doble de la desviación?» «Entonces –dijo Dyson–, Eddington se volverá loco y usted tendrá que regresar solo.»

Se habían tomado disposiciones para medir las placas en el mismo lugar, no únicamente por impaciencia sino como una precaución contra algún accidente en el viaje de regreso y, así, una de las placas bien impresionadas fue examinada inmediatamente. Los cálculos que tuvieron que hacerse fueron muchos, como sucede en todas las mediciones astronómicas, para que una placa pudiera decidir prácticamente la cuestión, aunque, por supuesto, debía buscarse la confirmación por otras. Tres días después del eclipse, cuando se llegó a las últimas líneas de los cálculos, supe que la teoría de Einstein había resistido la prueba y el nuevo punto de vista del pensamiento científico debía prevalecer. Cottingham no tuvo que volver solo a su casa.

Los dos grupos de astrónomos habían partido de Liverpool el mismo día, el 8 de marzo de 1919; el grupo encabezado por Eddington llegó a la isla de Príncipe el 23 de abril. En total, Eddington y sus ayudantes tomaron dieciséis fotografías, la mayoría sin valor por las nubes que aparecían intermitentemente; sólo dos resultaron aprovechables y pudieron compararse con las que se habían tomado de la misma zona estelar hacía unos meses en Inglaterra. Las fotografías tomadas en Sobral, mucho mejores, confirmaron los resultados provisionales de Eddington cuando se procedió a las correspondientes medidas ya de regreso en Inglaterra.⁴

La comunicación que se leyó en la reunión el 6 de noviembre estaba firmada por Frank Dyson, Arthur Eddington y Charles Davidson y había sido recibida en la Royal Society el 30



Telegrama de H. A. Lorentz a Einstein, informándole del resultado de las observaciones durante el eclipse de Sol del 29 de mayo de 1919.

que Lorentz le envió desde Leiden el 22 de septiembre: «Eddington ha encontrado desplazamiento estelar en el limbo solar, valor provisional entre nueve décimas de un segundo y el doble de esto» (CPAE, 2004: 167). El mismo día que recibió el telegrama, el 27 de septiembre, Einstein informaba a su madre, ingresada en un sanatorio de Lucerna por un cáncer terminal (falleció el 20 de febrero de 1920): «Hay algunas noticias felices. H. A. Lorentz me ha teleografiado diciéndome que las expediciones británicas han verificado la desviación de la luz por el Sol» (CPAE, 2004: 170).

El 7 de noviembre, esto es, justo el día después de la reunión en la que se presentaron los resultados del eclipse, *The Times* anunciaba:

REVOLUCIÓN EN CIENCIA

Nueva teoría del Universo

Ideas newtonianas desbancadas.

En este primer artículo periodístico, ya nos encontramos con uno de los principales temas que constantemente iban a aparecer en los comentarios referentes a la teoría de la relatividad, a la teoría general en este caso: el problema de su dificultad y, en última instancia, el problema de su incomprendibilidad. Se citaba que J. J. Thomson había manifestado que en la reunión de Burlington House se había asistido a «uno de los más decisivos, si no el que más, pronunciamientos del pensamiento humano», pero inmediatamente se añadía que el propio presidente de la Royal Society tenía que confesar que «nadie había sido todavía capaz de presentar en un lenguaje claro lo que era realmente la teoría de Einstein».

La ola de artículos periodísticos continuó, con intensidad creciente; el mismo Einstein (1919 a) contribuyó con algún trabajo, como el que el propio *The Times* londinense publicó el 28 de noviembre.⁵ Inicialmente fue especialmente en Gran Bretaña, Estados Unidos y Alemania donde

de octubre. Se publicó en las *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* y su conclusión no dejaba lugar a dudas (Dyson, Eddington y Davidson, 1920: 332):

Por consiguiente, los resultados de las expediciones de Sobral y Príncipe dejan pocas dudas de que tiene lugar una desviación de la luz en los alrededores del Sol y que ésta es de la magnitud exigida por la teoría generalizada de la relatividad de Einstein y atribuible al campo gravitacional del Sol.

Einstein, por cierto, supo de los resultados obtenidos por los británicos por un telegrama

avance hacia un estado mental más razonable entre los científicos y esto es incluso más importante que la reanudación de relaciones formales.

He estado muy interesado en el trabajo del profesor Weyl, que elimina algunos de mis prejuicios contra sus «opiniones cosmológicas» de la curvatura espacial.⁷ Todavía no domino del todo las matemáticas de Weyl, pero parece que conduce casi inevitablemente a sus términos cosmológicos.

He estado muy ocupado dando conferencias y escribiendo sobre su teoría. Mi *Report on Relativity* se ha agotado y ahora se está volviendo a imprimir. Esto demuestra un ansia de conocer el tema, ya que no es un libro fácil de digerir. Hace algunos días se presentó en la Cambridge Philosophical Society, que cientos de personas no pudieron siquiera acercarse a la sala por abarrotada.

Aunque parece injusto que el doctor Freundlich, que fue el primero en este campo, no haya tenido la satisfacción de lograr la prueba experimental de su teoría, uno siente que el resultado de todo esto ha sido muy afortunado al dar una lección de solidaridad de la ciencia alemana y la británica incluso en tiempo de guerra.

Eddington se equivocaba en una cosa: que el interés popular por las teorías de Einstein disminuiría. Una década después de la carta anterior, el 11 de febrero de 1929, Eddington informaba a Einstein:⁸ «Le divertirá saber que uno de nuestros grandes almacenes de Londres (Selfridges) ha pegado en el escaparate su trabajo (las seis páginas seguidas pegadas) de forma que los transeúntes puedan leerlo al pasar. ¡Y las multitudes se agrupan para leerlo!». El artículo en cuestión se refería a una de las versiones de la teoría del campo unificado que Einstein produjo.

Sin duda, Eddington fue, especialmente en Gran Bretaña pero no solamente allí —en la medida en que sus libros fueron traducidos, sus artículos técnicos leídos por físicos y matemáticos de todos los países y sus declaraciones transmitidas de un rincón a otro del mundo—, uno de los científicos, naturalmente además de Einstein, que más contribuyó a hacer popular y aceptada, por los físicos y astrónomos, la nueva teoría einsteiniana. Aparte de su participación en la expedición de 1919, de su *Report on the Relativity Theory of Gravitation* y sus conferencias, se debe recordar su libro *The Mathematical Theory of Relativity* (Eddington, 1923), un primer borrador del cual había sido publicado como un suplemento matemático a la edición francesa (1921) de su libro de carácter general *Space, Time and Gravitation* (Eddington, 1920). Este tratado, una auténtica obra maestra, no solamente contiene la mayor parte de las opiniones de Eddington relativas a la teoría de Einstein, sino que también fue durante muchos años el libro de texto en el que generaciones de físicos y matemáticos, británicos o no (en 1925 *The Mathematical Theory of Relativity* fue traducido al alemán con un apéndice de Einstein) aprendieron las teorías especial y, sobre todo, general de la relatividad. Se sabe, por ejemplo, que Paul Dirac fue un cuidadoso lector de *The Mathematical Theory of Relativity*.

Otra muestra de que la fama de Einstein crecía exponencialmente se encuentra en las ventas del libro de carácter popular que publicó en 1917 para divulgar las dos teorías de la relatividad, una obra a la que ya he hecho referencia (Einstein, 1917 b): *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. La primera edición constaba de dos mil ejemplares, la

segunda (también de 1917) de mil quinientos, la tercera (1918) de tres mil y la cuarta (1919) de tres mil.⁹ A partir de entonces, es decir, una vez anunciados los resultados de la expedición británica a la que me he referido, las ediciones y las ventas se dispararon: quinta edición (enero de 1920), cuatro mil quinientos ejemplares; sexta (febrero de 1920), cuatro mil quinientos también; séptima (marzo de 1920), otros tantos; octava (abril de 1920), seis mil; novena (junio de 1920), otros seis mil; décima (agosto de 1920), diez mil; décimo primera (noviembre de 1920), cinco mil; duodécima (noviembre de 1920), cinco mil. En 1922 ya se habían realizado catorce reimpressiones, con un total de sesenta y cinco mil ejemplares.

Y también comenzaron a aparecer traducciones a otros idiomas. La primera versión al inglés (*Relativity: The Special and the General Theory. A Popular Exposition*) apareció en Inglaterra (Methuen, Londres) en 1920. El año siguiente se publicaba en Estados Unidos (Holt, Nueva York) y también las traducciones al español (*Teoría de la relatividad especial y general* [Peláez, Toledo]), francés (*La théorie de la relativité restreinte et généralisée* [Gauthier, París]), italiano (*Sulla teoria speciale e generale della relatività*) y ruso (*Teoriia otnositel'nosti: Obshchedostypnoe izlozhenie*). En 1922 aparecía una traducción al húngaro, en 1923 al yiddish y en 1928 al hebreo.

Con la fama, a Einstein le llegaron invitaciones de todos los rincones del mundo. Y aceptó bastantes. Un buen indicador, utilizado por Abraham Pais (1984: cap. 16), del grado de popularidad de que gozaba en los países que visitó el entonces catedrático en Berlín, lo tenemos en los informes que los diplomáticos alemanes residentes en aquellas naciones enviaban al Ministerio de Asuntos Exteriores alemán (nos encontramos de esta manera también con una muestra de una utilidad de la ciencia, no completamente nueva –recuérdense los casos de «imperialismo cultural»–, que fue consciente y sistemáticamente aplicada a partir de 1919: el intentar explotar la ciencia y a los científicos para mejorar en el exterior la imagen nacional; con el interés que suscitó, Einstein ayudó, involuntaria o inconscientemente, a configurar esta dimensión de la ciencia contemporánea que tanto se ha desarrollado posteriormente).¹⁰ Citaré algunos de tales informes diplomáticos: Oslo, junio de 1920: «Las conferencias [de Einstein] fueron recibidas sorprendentemente bien por el público y la prensa»; Copenhague, junio de 1920: «En los últimos días, periódicos de todas las tendencias han hecho hincapié en extensos artículos y entrevistas en la importancia del profesor Einstein, “el físico más famoso de la actualidad”»; Tokio, enero de 1923: «Cuando Einstein llegó a la estación había tal gentío que la policía fue incapaz de dirigir aquella peligrosa aglomeración [...]. En el festival de los crisantemos no fueron ni la emperatriz ni el príncipe regente ni los príncipes imperiales los que atrajeron la atención: todo giró en torno a Einstein». Y comentarios similares relativos a sus visitas a París (abril de 1922), España (marzo de 1923; donde pronunció conferencias en Barcelona, Madrid y Zaragoza), Río de Janeiro, Montevideo, Estados Unidos... «Con un hombre así –señalaba Friedrich Sthamer, encargado de negocios alemán en Londres cuando (1920) tuvieron lugar los primeros ataques contra Einstein en Alemania–, podemos hacer una verdadera propaganda cultural y no deberíamos expulsarle de Alemania.»¹¹ El científico, *el científico famoso*, se convertía, como vemos, en objetivo e instrumento político.

ΕΠÍΛΟΓΟ

La leyenda dice que el Cid Campeador ganó batallas después de muerto. En cierto sentido, algo parecido se puede decir de Albert Einstein, en la medida en que su ciencia ha superado bien el paso del tiempo. Aunque se opuso –ya lo vimos– a la mecánica cuántica, sus contribuciones a esa física ganaron fuerza a lo largo de la segunda mitad del siglo XX y comienzos del siglo XXI: el efecto fotoeléctrico, por supuesto, se esconde detrás de multitud de artilugios con los que nos relacionamos todos los días, pero, también lo he comentado ya, los condensados de Bose-Einstein figuran entre las novedades más apreciadas de la física cuántica de las últimas décadas y, a pesar de que los resultados no fueron en la dirección que Einstein deseaba, las consecuencias de los análisis inspirados en el artículo que firmó con Nathan Rosen y Boris Podolsky han ofrecido nuevas y sorprendentes vías a la física cuántica, las de la no localidad y el entrelazamiento.

Nada hay que decir de la teoría de la relatividad especial, pilar hoy, más que cuando se concibió en 1905, de todo el edificio de la física. Diferente es el caso de la teoría de la relatividad general, puesto que, por mucha que fuera la admiración que suscitaba su original belleza, cuando Einstein murió estaba inmersa en una fase de decadencia. Se encontraba, y siguió encontrándose así durante algún tiempo, en manos de matemáticos que exploraban su estructura, y la mayoría de los físicos eran ajenos a ella. «Trabajé en el campo de la relatividad desde 1937 hasta 1967 –recordaba el muy distinguido matemático francés André Lichnerowicz (1992: 103) en un artículo–; en 1937, la comunidad de relativistas era una extraña mezcla. Existía un pequeño grupo de físicos especializados en ella, amigos o estudiantes de Einstein, tales como W. Pauli, L. Infeld, B. Hoffmann y V. Fock (Unión Soviética), un pequeño grupo de astrónomos especializados, como G. Lemaître, y un pequeño grupo de matemáticos, como T. de Donder y G. Darmais. Sus intereses oscilaban entre la geometría diferencial y la mecánica racional, pasando por la teoría de ecuaciones en derivadas parciales. La comunidad de físicos de entonces, apasionadamente dedicada a la mecánica cuántica, consideraba a los relativistas marginales. Sólo P. Dirac era una excepción.»

En la misma publicación, Lichnerowicz (1992: 104) explicaba cómo había llegado a interesarse por la relatividad:

En 1936 y 1937, después de haber recibido una sólida formación en geometría diferencial de Élie Cartan, siguiendo el consejo de George Darmais y con la anuencia de Cartan, me interesé en la teoría de la relatividad. En 1926, Darmais había dado un curso de cuatro lecciones en Bélgica sobre «las ecuaciones de la gravitación einsteiniana», en presencia de Donder. La versión publicada (Darmais, 1927), que apareció en la serie *Mémorial des Sciences Mathématiques*, se convirtió en mi lectura de cabecera. En ese libro, aunque tratado en coordenadas gaussianas, que en mi opinión presentaban serios problemas, se encuentra el primer análisis riguroso de la naturaleza hiperbólica de las ecuaciones de Einstein, esto es, el fundamento de la teoría relativista de la gravitación como una teoría de propagación de ondas. Se estudiaba, con un profundo conocimiento, la separación de las ecuaciones de Einstein relativas al problema de Cauchy en dos grupos: uno trataba de las condiciones iniciales y el otro, de la evolución

temporal. Una interpretación geométrica de las condiciones de las coordenadas de Donder se conoce ahora como condiciones *armónicas*.

Fue entonces cuando comencé a pensar sobre la estructura diferenciable de la variedad espacio-temporal, de manera que pudiese atacar lo que me interesaba: los problemas globales de la relatividad, las claves para la verdadera comprensión de la teoría. En 1939, sintiendo que la guerra estaba cerca, publiqué en la serie *Actualités Scientifiques et Industrielles* una monografía algo imperfecta titulada *Problèmes globaux en mécanique relativiste* (Lichnerowicz, 1939). Después de haber analizado de manera completa el problema formal de Cauchy para coordenadas locales arbitrarias, di la primera demostración (parcial) de un resultado que habían buscado Einstein y Pauli: *un espacio-tiempo exterior estacionario, regular y asintóticamente euclideo en todos sus puntos, debe ser plano localmente*, esto es, sin gravitación. Di una demostración completa de este teorema en 1945 que mereció la felicitación de Pauli.

Los problemas que mencionaba aquí Lichnerowicz eran, por supuesto, interesantes y relevantes, pero sobre todo desde el punto de vista de la estructura matemática de la teoría de la relatividad general, no desde el de las posibles consecuencias o contrastaciones experimentales, físicas. De hecho, cabe argumentar que acaso sirvieran más al avance de ciertas ramas de la matemática pura que a la física, aunque indudablemente también sirvieron a ésta. Algo de esto posiblemente tenía en mente el matemático chino-americano Shiing-Shen Chern, considerado uno de los grandes nombres de la geometría diferencial del siglo XX, cuando en una reseña de uno de los libros de Lichnerowicz, *Théorie globale des connexions et des groupes d'holonomie* (1955), señaló (Chern, 1957: 57): «Este libro, dedicado a la teoría moderna de las conexiones, es muy adecuado al momento actual. La teoría clásica la iniciaron sobre todo Levi-Civita y Schouten, y recibió un amplio desarrollo, en parte, por sus aplicaciones a la teoría general de la relatividad».

Aunque la situación comenzó a cambiar precisamente el año de la muerte de Einstein, a raíz de un congreso celebrado en Berna entre el 11 y el 16 de julio de 1955, homenaje a los cincuenta años del nacimiento de la teoría de la relatividad especial, y de otro que tuvo lugar en enero de 1957 en la Universidad de Carolina del Norte, Chapel Hill, los avances no fueron todavía lo suficientemente atractivos como para evitar las opiniones que Richard Feynman escribió a Gweneth, su esposa, mientras participaba en el III Congreso Internacional de Relatividad General, que, presidido por Leopold Infeld, se celebró en Varsovia y Jablona (Polonia), del 25 al 31 de julio de 1962.¹ En su carta a Gweneth, Feynman (2006: 147) decía:

No voy a sacar nada de la reunión, no estoy aprendiendo nada. Este campo no es un campo activo (pues no hay experimentos) y pocos de los mejores hombres están trabajando en él. El resultado es que hay un montón (126) de pasmarotes aquí y eso no es bueno para mi tensión. Se dicen y se discuten seriamente cosas inanes —y yo me enzarzo en discusiones fuera de las sesiones formales, por ejemplo en la comida, cuando alguien me hace una pregunta o empieza a hablarme de su «trabajo»—. Siempre es 1) completamente incomprensible, 2) vago e indefinido, 3) algo correcto

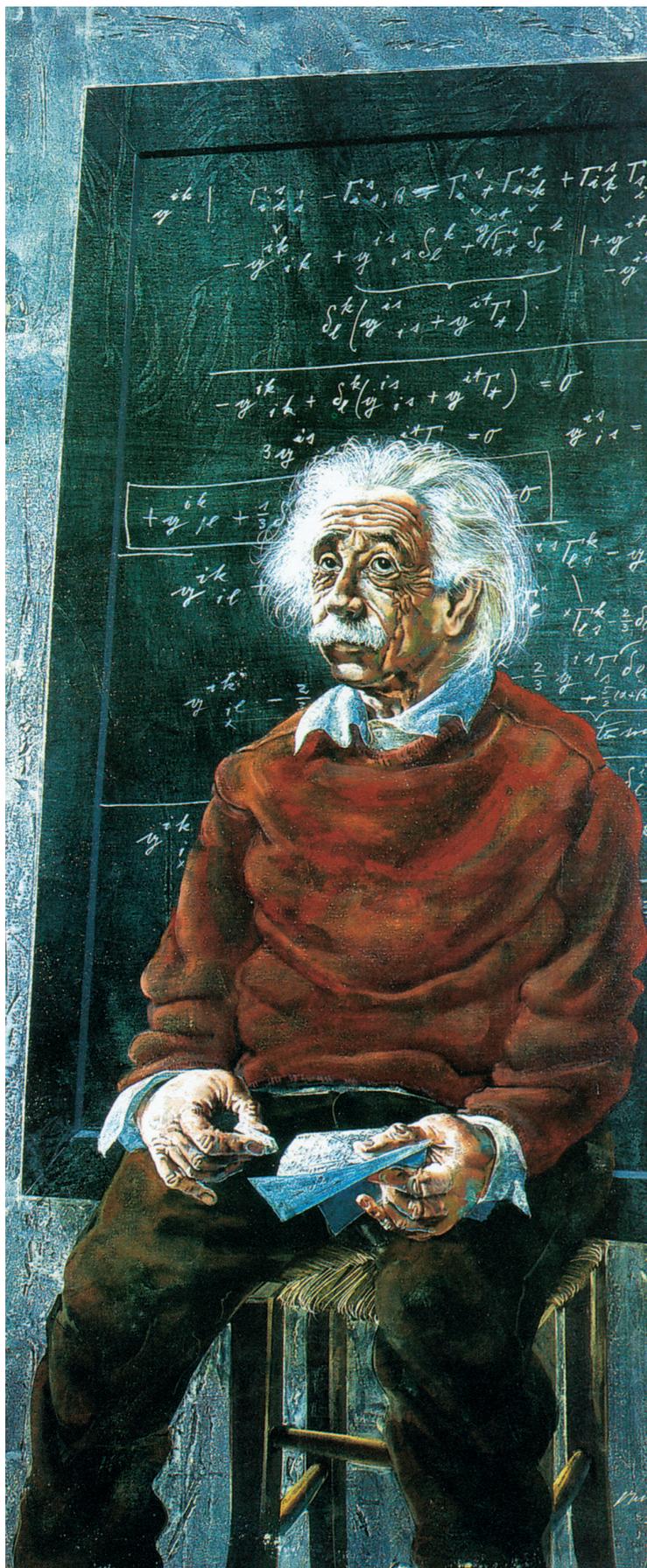
que es obvio y evidente pero calculado mediante un análisis largo y difícil y presentado como un descubrimiento importante, 4) una afirmación, basada en la estupidez del autor que dice que algo obvio y correcto, aceptado y comprobado durante años, es de hecho falso (éstos son los peores... ningún argumento convencerá a los idiotas...), 5) un intento de hacer algo probablemente imposible, pero con certeza de ninguna utilidad y que, finalmente, se revela, al final falla [...] o 6) sólo es falso. Hay mucha «actividad en el campo» estos días, pero esta «actividad» consiste principalmente en mostrar que la «actividad» previa de algún otro terminó en un error o en nada útil o en algo prometedor, etcétera, como un montón de gusanos tratando de salir de una botella arrastrándose sobre los demás. No es que la materia sea difícil, es simplemente que los buenos están ocupados en otro lugar. Recuérdame que no vaya a más congresos sobre gravedad.

La historia, sin embargo, es difícil de prever, plena como está de cambios inesperados, de acontecimientos, algunos pequeños al principio, semillas de un futuro diferente. En 1962, cuando Feynman asistió, frustrado, al congreso de Polonia, estaba abriéndose una nueva era, dorada para muchos, en la historia de la teoría de la relatividad general: la de los *agujeros negros* y la de manifestaciones de la teoría en dominios experimentales. A semejante nueva era se ha referido en sus memorias un físico como el célebre Stephen Hawking (2014: 52-53):

Cuando empecé a investigar [1962], las dos áreas que parecían más atractivas eran la cosmología y la física de las partículas elementales. Ésta constituía un campo en continuo cambio que atraía a la mayoría de las mentes más privilegiadas, mientras que la cosmología y la relatividad general estaban estancadas en el mismo punto que en la década de 1930 [...]. La cosmología y la gravitación eran campos desatendidos que en aquel momento estaban maduros para su desarrollo. A diferencia de las partículas elementales, existía una teoría bien definida –la teoría general de la relatividad–, pero se consideraba de una dificultad imposible. La gente disfrutaba de tal manera tratando de encontrar una solución a las ecuaciones de campo de Einstein que describen la teoría que no se planteaban qué significado tenía esa solución en la física, si es que tenía alguno. Era la vieja escuela de la relatividad general con la que Feynman se había topado en Varsovia. Resulta irónico pensar que aquel congreso de Varsovia también marcó el inicio del renacimiento de la relatividad general, aunque hay que disculpar a Feynman por no detectarlo en su momento.

Una generación nueva entró en la disciplina y aparecieron nuevos centros de estudio de la relatividad general.

Antes de que los agujeros negros ganasen el interés y la fe de la mayoría de los físicos, de la mano de un espectacular desarrollo de los medios tecnológicos de observación, otros objetos estelares aparecieron en escena, objetos como los cuásares (Schmidt, 1963) o los pulsares (Hewish, Bell, Pilkington, Scott y Collins, 1968), estrellas de neutrones que emiten radiación de forma extremadamente regular, objetos cuyas características, lejanas del mundo newtoniano, obligaron a volver a considerar la relatividad general, hasta que ésta se enquistó en la física «puntera», sola



Albert Einstein por Hans Erni, 1970.

o aliada con los físicos de altas energías, que vieron en los «primeros instantes de vida del Universo» un magnífico escenario para avanzar en su comprensión de la estructura de la materia.

Y, de esta manera, a través de la teoría de la relatividad general, Albert Einstein ganó nuevas batallas después de muerto.

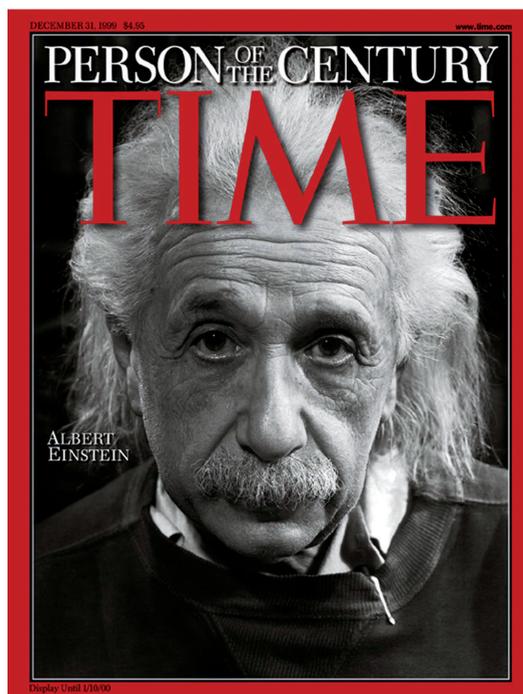
EL «PERSONAJE DEL SIGLO XX»

El nombre de Albert Einstein está asociado a la mejor y más revolucionaria ciencia del siglo XX, un periodo que algunos consideran «El Siglo de la Ciencia».² Por otra parte, y tanto por la mera circunstancia del periodo histórico que le tocó vivir como por la notoriedad social que adquirió, su biografía es algo así como un «espejo de la primera mitad del siglo XX» y, en la medida en que en esa mitad tuvo lugar una buena parte de los acontecimientos políticos, sociales y científicos más notables, un «espejo de todo el siglo XX». Por todo ello, no es sorprendente que cuando estaba próximo el final del siglo XX, aquel siglo tan terrible como maravilloso, la revista estadounidense *Time*, en su último número del año, 31 de diciembre de 1999, designase a Einstein «PERSON OF THE CENTURY» («PERSONAJE DEL SIGLO»).³ Tal era, en efecto, el encabezamiento de la portada, una portada ocupada por la fotografía y el nombre del personaje seleccionado: Albert Einstein. Quedaron «finalistas», Franklin Delano Roosevelt (1882-1945) y Mohandas Gandhi (1869-1948). Tres personajes perfectamente adecuados a los tres grandes apartados que caracterizaron el siglo XX: «Ciencia y Tecnología», «Democracia» y «Derechos civiles».

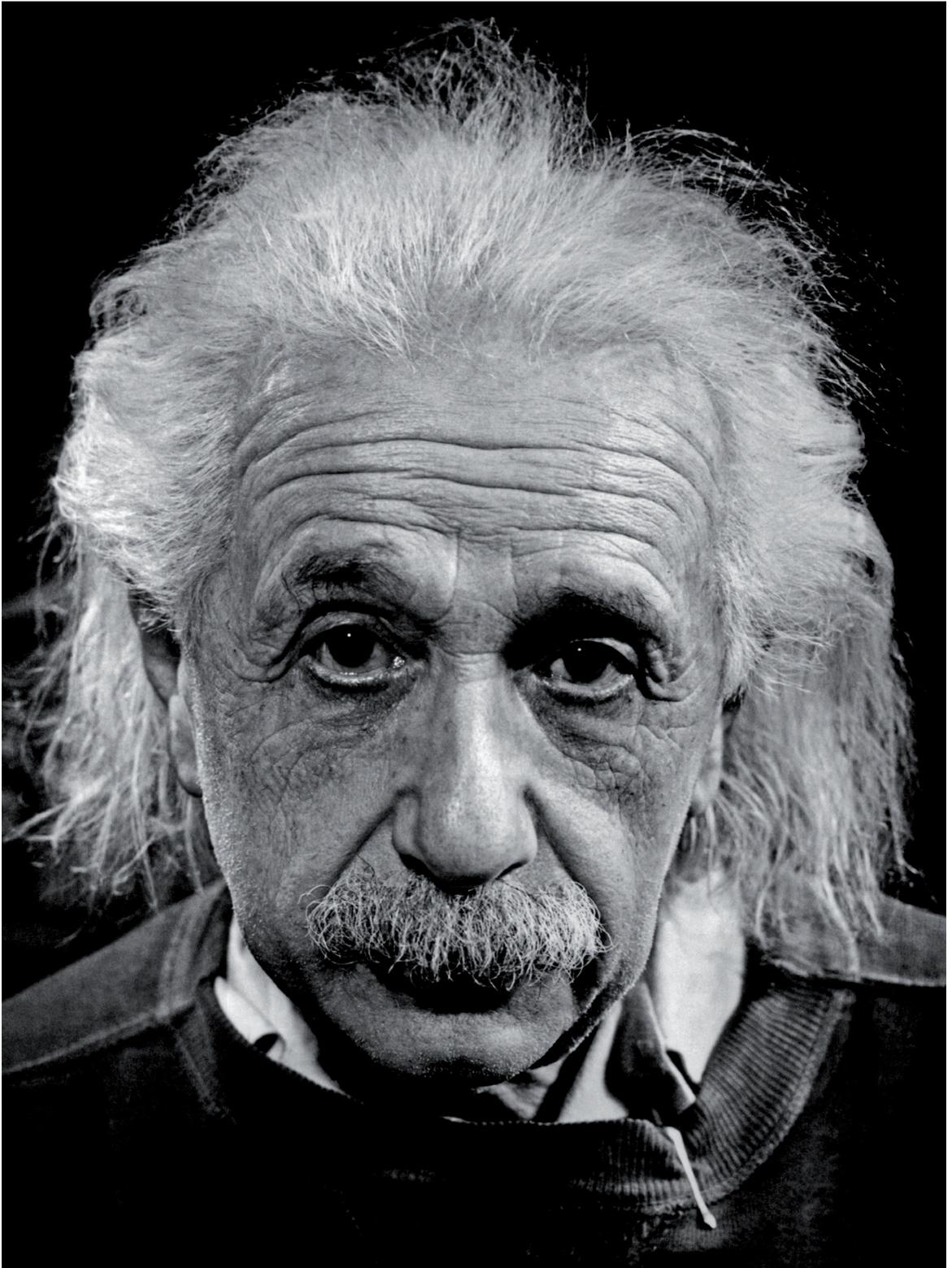
En el artículo en el que uno de los editores de la revista, Walter Isaacson, más tarde biógrafo de Einstein, justificaba la elección, leemos (Isaacson, 1999: 26):

Es difícil comparar la influencia de políticos con la de científicos. Sin embargo, nos damos cuenta de que existen algunas épocas que fueron definidas especialmente por sus políticas, otras por su cultura y otras por sus avances científicos.

El siglo XVIII, por ejemplo, estuvo marcado claramente por la política: sólo en 1776, están Thomas Jefferson y Benjamin Franklin escribiendo la Declaración de Independencia, Adam Smith publicando *The Wealth of Nations* [La riqueza de las naciones] y George



Portada del *Time*, 31 de diciembre de 1999



Albert Einstein en 1947, fotografía de Philippe Halsman.

Washington dirigiendo las fuerzas revolucionarias. Por otra parte, el siglo XVII, a pesar de líderes tan señalados como Luis XIV y del castillo que nos dejó, será recordado sobre todo por su ciencia: Galileo explorando la gravedad y el Sistema Solar, Descartes desarrollando la filosofía moderna y Newton descubriendo las leyes del movimiento y del cálculo. Y el siglo XVI estará en nuestra memoria por el florecimiento de las artes y la cultura. Miguel Ángel, Leonardo y Shakespeare creando obras maestras, Isabel I dando origen a la era isabelina.

¿Y cómo será recordado el siglo XX? Por su democracia, sí. Y también por los derechos civiles.

Pero el siglo XX será recordado sobre todo, al igual que el XVII, por sus estremecedores avances en ciencia y tecnología. En su extensa historia del siglo XX, Paul Johnson manifiesta: «El genio científico afecta a la humanidad, para bien o para mal, mucho más que cualquier político o señor de la guerra». Albert Einstein fue más expresivo: «La política es para el momento. Una ecuación es para la eternidad».

Una expresión que me recuerda a otra debida a otro científico, esta vez un matemático, Godfrey Harold Hardy, quien en su magnífico y conmovedor libro de 1940 *A Mathematician's Apology* (*La apología de un matemático*) escribió (Hardy, 1999: 82): «La matemática griega es permanente, más permanente incluso que la literatura griega. Arquímedes será recordado cuando Esquilo sea olvidado, porque los idiomas mueren y las ideas matemáticas no».

Pero continuemos con *Times* y su editorial (p. 32):

Como el mayor pensador del siglo, como un inmigrante que huía de la opresión hacia la libertad, como un idealista político, Einstein engloba de la mejor forma posible lo que los historiadores considerarán significativo acerca del siglo XX. Y como un filósofo con fe tanto en la ciencia como en la belleza de la obra de Dios, personifica el legado que pasará al próximo siglo.

Dentro de cien años, cuando entremos en otro siglo –incluso, dentro de diez veces cien años, cuando entremos en un nuevo milenio–, el nombre que demostrará ser más perdurable de nuestra propia asombrosa era será el de Albert Einstein: genio, refugiado político, humanista, descifrador de los misterios del átomo y del Universo.

No estoy nada seguro de lo que sucederá dentro de cien años, mucho, infinitamente menos de lo que ocurrirá al cabo de un milenio, pero, como la revista *Time*, pienso que, efectivamente, Albert Einstein, su obra científica y sus escritos constituyen el mejor o uno de los mejores legados que pueden y deben pasar a la posteridad. Fue un hombre al que bien se le puede aplicar aquella frase que Publio Terencio Africano incluyó en su comedia *Heanton Timoroumenos* (*El enemigo es sí mismo*; 165 a.C.): «*Homo sum, humani nihil a me alienum puto*» («Hombre soy, nada de lo humano me es ajeno»). Lo mostró en la compleja intimidad de su vida privada, en sus preocupaciones sociales –esto es, por «los otros»– y en su interés y su habilidad para desentrañar los fenómenos que tienen lugar en la Naturaleza. Como poco, merece la pena que al menos quienes no estamos aún demasiado alejados de su tiempo, lo recordemos y comprendamos algo de lo que hizo y sintió.