

Con motivo del centenario de la publicación de los Papeles de 1905 se conmemora mundialmente El Año de la Física, que está siendo el año Einstein. Los profesores de matemáticas tenemos ante nosotros un estimulante escenario para poner nuevamente de manifiesto el fecundo engarce de las teorías abstractas de la razón con las aparentemente ocultas leyes de la naturaleza.

The United Nations have declared 2005 The world year of physics, to mark the hundredth anniversary of the publication of Einstein's important five Papers in 1905. For mathematics teachers, this represents a stimulating framework to recall the strong links between the abstract theories with the apparently hidden laws of Nature.

Albert Einstein obtuvo el título de *Profesor en Física y Matemáticas* en la Escuela Politécnica Federal de Zurich en 1900, y aunque decidió dedicarse a problemas de la realidad física siempre tuvo que recurrir a nuevas herramientas matemáticas, hasta el punto que el sueño de sus últimos años –la teoría de la unificación– le exigió un esfuerzo matemático que no logró resolver, pero que le mantuvo en plena creatividad. Su legado no sólo han sido los problemas resueltos, también forma parte de su herencia la búsqueda inacabada de la unidad del cosmos.

En este artículo se hace un repaso sobre la formación matemática de la personalidad más influyente del siglo XX (encuesta de la revista Time), sus opiniones sobre la disciplina, y sobre las matemáticas usadas en sus principales obras.

Infancia: la caza del animalito x

Albert Einstein nace en 1879 en la ciudad suaba de Ulm. La familia –judíos alemanes– se traslada un año después a Munich, donde su padre Hermann y su tío Jacob montaron una tienda y una fábrica de material eléctrico. Será en la capital de Baviera donde Einstein realice los estudios primarios y dejará sin terminar los del Gimnasio. Hermann tuvo que ponerse a trabajar sin terminar estudios superiores, pero Jacob si acabó los estudios de ingeniería. Tanto uno como otro fomentaron la afición del pequeño Albert por las matemáticas.



Ángel Requena Fraile

IES La Cabrera. La Cabrera. Madrid

Sus primeros pasos en la escuela fueron poco prometedores, los profesores no tenían buena opinión de un niño que hablaba tan despacio que les exasperaba. Con diez años –en la escuela primaria– el hijo de los Einstein empieza a mostrar sus posibilidades pues se inicia en la lectura de divulgación científica y ya se había familiarizado con el álgebra. El encargado de enseñarle fue su tío Jacob, al que gustaba repetir:

El álgebra es una ciencia muy divertida. En ella se caza un animalito cuyo nombre se ignora y al que se designa por x . Cuando ha caído en la trampa, el cazador le agarra y le da su verdadero nombre.

Por supuesto que la experiencia
retiene su cualidad de criterio
último de la utilidad física de
una construcción matemática.
Pero el principio creativo reside
en la matemática.

Albert Einstein

Esta caza algebraica le deleitaba hasta el punto de saltarse los métodos convencionales usando atajos. Su tío fue también el que le mostró por primera vez el teorema de Pitágoras:

El teorema de Pitágoras me lo enseñó uno de mis tíos, antes... Tras arduos esfuerzos logré probar el teorema sobre la base de la semejanza de triángulos.

Pero será en el Gimnasio muniqués donde se produce el apasionante encuentro del joven con la geometría:

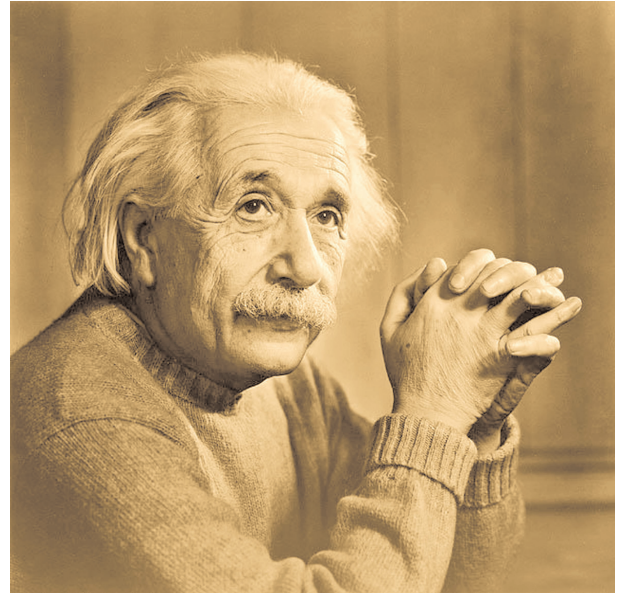
A la edad de doce años experimenté el asombro con un librito sobre geometría euclídea del plano, que cayó en mis manos al comienzo del curso escolar. Había allí asertos, como la intersección de las tres alturas de un triángulo en un punto... podían probarse con tanta seguridad que parecían estar a salvo de toda duda.

Muchos años más tarde, Albert fue así de contundente al expresar la importancia de la formación geométrica en el despertar intelectual:

Si Euclides no ha logrado inflamar vuestro entusiasmo juvenil, esto significa que no habéis nacido para convertirnos en un pensador científico.

Como los negocios de la familia no van bien, padre y tío trasladan la residencia y la empresa a Milán y a Pavía, dejando al joven en Munich para que terminara la escuela secundaria. Su rebeldía le va a ocasionar el primero de los múltiples problemas: Albert es expulsado del Gimnasio por socavar el respeto de los alumnos hacia los profesores.

Fracasado en la secundaria por enfrentarse con el rígido profesorado de Munich, la familia busca fuera de Alemania –pero de habla germana– donde puede continuar los estudios su vástago. El prestigioso Politécnico Federal de Zurich será el centro elegido.



Nuevo fracaso: no tiene el diploma de secundaria, y las notas de lengua y biología son malas. Le salvan los resultados brillantes en matemáticas que impresionan tanto al director que decidirá rescatarle orientándole para que termine los estudios secundarios. En la escuela suiza de Aarau encontrará Albert un ambiente mucho más favorable: libertad e investigación. Un curso más y tendrá abiertas las puertas del Politécnico.

Desapercibido en el Politécnico

Entre los años 1896 y 1900 estudiará Einstein en el Politécnico de Zurich. Ninguno de sus profesores pudo anticipar que, cinco años después, ese joven desconocido –faltaba mucho a las clases– iba a revolucionar la imagen física del mundo. Así lo expresaba un matemático que primero fue su profesor y más tarde clave para dar consistencia formal a la Teoría General de la Relatividad, Hermann Minkowski:

Nunca habría esperado semejante trabajo de mi exalumno.

Albert prácticamente no va a clase –pasará desapercibido– prefiere estudiar por su cuenta, encerrarse en los laboratorios y acudir a las fuentes originales de las teorías: Maxwell, Boltzmann o Hertz. En esta época es cuando su interés se reparte equitativamente entre la física y las matemáticas, como ponen de manifiesto los cursos complementarios a los

que asiste: ecuaciones en derivadas parciales, cálculo de variaciones, mecánica analítica y mecánica general entre otros.

La nota más alta de licenciatura de Einstein –sobre 6– fue en una materia matemática: teoría de funciones, un 5,5. En física teórica, práctica y astronomía se quedó en el 5.

Einstein obtiene el *Diploma de profesor en física y matemáticas* pese a su aversión por los exámenes, que le asqueaban y le apartaban de abordar verdaderos problemas científicos. De hecho, la ayuda para aprobar la obtenía por la generosidad de su amigo Marcel Grossmann que le pasaba sus cuidadosos apuntes. Grossmann fue tan importante como Minkowski para el posterior desarrollo del formalismo matemático de la relatividad.

La nota más alta de licenciatura de Einstein –sobre 6– fue precisamente en una materia matemática: teoría de funciones, un 5,5. En física teórica, práctica y astronomía se quedó en el 5. Pese a sus notas no fue contratado por el Politécnico.

Tras la licenciatura empiezan los problemas de empleo. Además Albert quiere casarse con una compañera: Mileva. En la avanzada Suiza las mujeres pueden estudiar en el Politécnico pero no reciben el diploma sino un certificado.

En 1900 Einstein tiene que optar entre la matemática y la física. Así lo confiesa:

El hecho de que descuidase hasta cierto punto las matemáticas no respondía exclusivamente a que mi interés por las ciencias naturales fuese mas fuerte que el que sentía por aquellas, sino también por la siguiente circunstancia singular. Yo veía que las matemáticas estaban parceladas en numerosas especialidades, cada una de ellas por sí sola podía absorber el breve lapso de vida que se nos concede. En consecuencia yo me veía como el asno de Buridan, que era incapaz de decidirse entre dos gavillas de heno. Presumiblemente esto se debía a que mi intuición en el campo de las matemáticas no era lo bastante fuerte como para diferenciar claramente lo que era básico...Además, mi interés por el estudio de la naturaleza era sin duda más fuerte; y en mi época de estudiante no tenía aún claro que el acceso a un conocimiento más profundo de los principios más básicos de la física depende de los métodos matemáticos más intrincados. Sólo poco a poco se fue haciendo esto claro para mí tras años de trabajo científico independiente.

Esta última confesión es muy significativa, está hecha en sus años finales, cuando su *tormento matemático* es mayor. Einstein ha descubierto que su enorme intuición física no es suficiente, necesita herramientas matemáticas más avanzadas que las que domina.



Max Planck y Albert Einstein

Anni mirabiles: 1902-1905

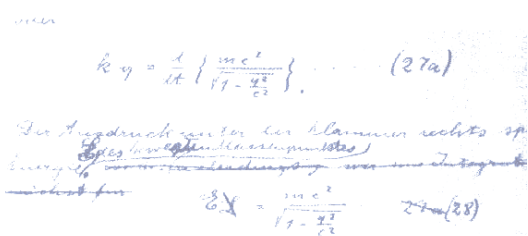
La epidemia de peste apartó a Isaac Newton de sus obligaciones académicas. Los años 1665 y 1666 de estancia en Whoolsthorpe del joven Newton (nacido en 1642) supusieron el hallazgo de lo que constituye su obra fundamental en todos los campos: el binomio, el método de tangentes, el de fluxiones (diferencial), el inverso (integral), la teoría de los colores y la atracción gravitatoria. ¡Impresionante! Newton tardó en publicar, fue dosificando y puliendo, pero con 24 años había creado una imagen del mundo intocable durante dos siglos. Es obligado citar a Newton, pues su producción juvenil sólo es comparable con el periodo de Berna de Albert Einstein.

Tras impartir algunas clases –sustituciones– Albert consigue trabajo en la oficina de patentes de Berna. Se opera el milagro. El trabajo es interesante en sí mismo –la creatividad y variedad de los inventos– y también por el tiempo que le deja para

pensar. A diferencia de Newton, Einstein no está aislado; con un grupo de amigos forma la Academia Olimpia, un club de debates múltiples que solía reunirse en el café Metropol. Los olímpicos igual discuten un problema matemático, una teoría física o sobre el Quijote.

El ambiente de seguridad económica y estímulo intelectual le ofrece al joven diplomado la libertad que anhelaba. Einstein nunca quiso que le pagaran por investigar: sólo ganándose la vida de otra manera podía dirigir sus estudios en la dirección que le marcaba su espíritu rebelde.

No necesitaba mucho; si le preguntaban sobre su laboratorio respondía señalando su estilográfica.



En 1905, un marginal del mundo universitario, va a publicar cinco artículos en campos dispares que van a conmocionar la física:

- Una nueva determinación de las dimensiones moleculares (determinación del número de Avogadro). Tesis doctoral.
- Sobre el movimiento de partículas pequeñas suspendidas en líquidos en reposo exigido por la teoría cinético molecular del calor (movimiento browniano).
- Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (relatividad restringida).
- ¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido en energía?
- Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz (hipótesis cuántica y efecto fotoeléctrico).

Entre los cinco artículos apenas suman 80 páginas. El premio Nobel de 1921 le será concedido curiosamente por el último trabajo, no por el principio de relatividad, que todavía tenía influyentes detractores.

Los recursos matemáticos usados por Einstein son fundamentalmente ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, integrales de superficie y volumen, laplacianos, y cálculo de extremos.

La generalización del principio de relatividad: obstáculos matemáticos

Después de 1905 se empiezan a abrir las puertas universitarias al funcionario de patentes. La creatividad de Einstein, su espíritu libre, su anhelo de armonía, le llevará inmediatamente a buscar una alternativa a lo que ha socavado: la imagen mecánica del universo. Más tarde dirá: *perdóname Newton*.

Hasta ahora, Albert ha optado por Maxwell frente a Newton, pero la batalla intelectual se ha librado en el terreno del primero, en la electrodinámica. Ha llegado el momento de combatir en el centro mismo de la soberbia construcción de Newton: la gravitación. En 1908 ya tenía Einstein una idea de cómo abordar la sustitución de la acción a distancia por una propiedad geométrica del espacio-tiempo. Y, sin embargo, hasta 1916 no puede publicar la *teoría general*; ha surgido un fortísimo obstáculo: se requiere algo más que las ecuaciones diferenciales del Politécnico. La superación de la barrera matemática le llevará al joven profesor ocho años.

La primera universidad importante que le reclama es Praga. En 1911 Einstein disfrutará de la hermosura de la ciudad con grandes paseos, pero su incapacidad para el protocolo académico le alejará del profesorado. Una excepción fue George Pick quien, en estimulantes discusiones matemáticas le sugiere por primera vez que use los trabajos de dos matemáticos italianos para el problema de la relatividad general. Desde 1900 estaba disponible una memoria de Ricci y Leví-Civita que introducía un nuevo ente matemático, el cálculo tensorial, y que se estaba mostrando como una herramienta muy potente. Pick morirá en los campos de exterminio.

Muestra del reconocimiento de la comunidad científica a las aportaciones de 1905 es la invitación que recibe Einstein para asistir a los encuentros Solvay de 1911. En Bruselas se reúne lo más selecto de la ciencia, de hecho a Austro-Hungría sólo llegan dos invitaciones. El carácter revolucionario de las aportaciones hará que no todas ellas gocen de acuerdo universal, pero serán los nazis muchos años más tarde los únicos que negarán todo crédito al trabajo de su compatriota.

En 1912 le reclama su antiguo Politécnico, doce años más tarde y como un creador reconocido se produce el retorno. Einstein se reencuentra con sus escasos amigos, en particular con Grossmann. Su colaboración será de nuevo esencial para la fundamentación matemática de la relatividad general. Las herramientas que permitirán sacar conclusiones de las creativas intuiciones van a ser: la mencionada teoría de tensores y la geometría cuadrimensional de su profesor Minkowski, que además incorpora la curvatura de Riemann.

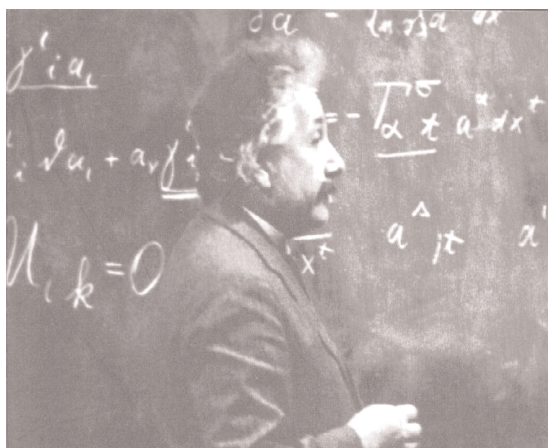
El periodo de enseñanza en Zurich va a ser básico para recorrer el camino de la generalización de la relatividad; y tam-

bién, con la perspectiva de hoy, no puede dejar de asombrarnos lo difícil que era anquilosarse en la época. Los cursos en Zurich eran cambiantes por semestres: en el invierno de 1912-1913 Einstein enseña análisis matemático y termodinámica, en el siguiente semestre mecánica de los medios continuos y teoría del calor y, en el último, electricidad y magnetismo, y óptica geométrica. Un profesor del politécnico no podía anclarse en una especialidad.

La oferta recibida de la Universidad de Berlín hace que en 1914 Einstein se desplace a una ciudad que no había perdido su prominencia científica desde que Guillermo II en el XVIII atrajo a los grandes de su época. La capital de Prusia era ahora la de la Alemania unificada y estaba en su esplendor. La guerra hará que el nuevo profesor se distinga... por ser de los pocos académicos que firme en contra del militarismo alemán y su afán de dominio.

Y en plena guerra –en 1916– aparece lo que va a ser la más refinada y compleja aportación de Einstein: *Fundamento de la teoría general de la relatividad*.

A diferencia de la brevedad y concisión de los artículos de 1905, el trabajo de fundamentación supera las 100 páginas, dedicando casi la mitad al apartado B: *Recursos matemáticos para establecer ecuaciones de covarianza universal*. El cálculo tensorial es adaptado para encontrar las ecuaciones del movimiento en sistemas de referencia no galileanos.



Einstein y Gotinga: física y matemáticas

Otro aspecto de la compleja relación –que fue evolucionando con el tiempo– de Einstein con las matemáticas la podemos observar en sus comentarios sobre el principal centro de desarrollo matemático desde Gauss hasta los años treinta: la universidad de Gotinga. Hablar de la universidad alemana en la época es hacerlo de Klein y sobre todo de Hilbert. Las obser-

vaciones de Einstein son algo duras, no comenta tanto el trabajo realizado como el elitismo que percibió en sus contactos:

La gente de Gotinga me asombra a veces, no como si quisieran ayudar a alguien a expresar claramente algo, sino al contrario, como si únicamente quisieran demostrarnos a los físicos que son mucho más brillantes que nosotros.

Este juicio puede completarse con la –quizá más significativa– expresión humilde de Hilbert sobre el mérito de Einstein:

En las calles de nuestra Gotinga matemática, el primer muchacho recién llegado comprende la geometría cuatridimensional mejor que Einstein. Y, sin embargo, a pesar de esto, quien realizó la tarea fue Einstein y no los matemáticos.

En efecto, el fino olfato de Hilbert, que fue tan útil para la mecánica cuántica, parte del conocimiento de que la obtención de las ecuaciones del movimiento a partir de las ecuaciones del campo constituía un problema muy difícil. Para vencerlas fue necesaria cierta intuición física, que permitiera comprender la imagen del mundo.

Incluimos en este apartado otro comentario de Einstein en una conferencia en el Colegio de Francia (1922):

Su error [el de algunos matemáticos] consiste en no ver más que relaciones formales, sin pararse a considerar las realidades físicas que se corresponden con los símbolos matemáticos.

Einstein pasó muchos años trabajando sobre construcciones matemáticas complejas... sin embargo sus construcciones teóricas comprendían siempre principios simples y claros. Estos principios son los que divulgaba, y después había que dejar que la armonía y la fuerza convincente de la teoría hicieran el resto.

Einstein expresó –en *Geometría y experiencia*– el principio de precaución en la aplicabilidad de los modelos a la realidad de forma muy contundente:

En la medida que las proposiciones matemáticas se refieren a la realidad, no son seguras; y, en la medida en que son seguras, no se refieren a la realidad.

El eclipse de 1919 y el Premio Nobel

Las previsiones de desviación de la luz en presencia de un campo gravitatorio podían ser comprobadas. El responsable de hacerlo sería el astrofísico Eddington. La apertura de ideas del inglés se pone de manifiesto en su empeño inmediato por

conocer y aplicar la teoría de un *enemigo* en plena guerra. La anécdota que de él se cuenta es la respuesta a un periodista que le preguntó sobre la dificultad de una teoría que sólo dominan tres personas; la socarrona respuesta de Eddington fue: *Eintein es uno, ¿quien es el otro?*

La verificación en 1919 durante un eclipse solar de las previsiones de desviación de la luz por Eddington no sorprende a Einstein, sus fuertes convicciones están basadas en la buena fundamentación matemática de la teoría y en su arraigada creencia en la cognoscibilidad del mundo. En el artículo original de 1916 se recogió la prueba hasta ese momento inexplicable de la desviación del perihelio de Mercurio.

La concesión del Premio Nobel de Física en 1921 le llega por una parte de sus trabajos de 1905, ni la Relatividad Restringida ni la General recibieron premio manifiesto. La diplomacia de la Academia Sueca permite darle el premio, sobradamente justificado, con la prueba incuestionable y brillante de la hipótesis cuántica. Podemos suponer que el jurado estuvo pensando también en el resto de los trabajos de Einstein, que eran controvertidos y no universalmente aceptados todavía en 1921, pese a la acumulación de pruebas.

El juicio popular ya había puesto a Einstein en la cima. Los años veinte son la época viajera del profesor berlinés. Japón, India, España, Francia y EEUU son algunos de sus destinos; en todas partes se supera el ámbito académico: Einstein es un fenómeno en la naciente sociedad de masas.

*La segunda guerra mundial
lleva a Einstein a colaborar,
pese a sus convicciones
pacifistas, en el esfuerzo bélico:
trabaja en problemas
prácticos de la marina.*

Princeton

El avance del nazismo lleva a los Einstein a aceptar la oferta de Princeton para instalarse en EEUU. Al principio a Albert le cuesta tomar la decisión, pues tiene muy arraigada la convicción de que la libertad de investigación requiere no vivir de ella, y prefiere no renunciar a dar clases. La garantía de independencia le lleva a vivir en ese centro singular donde los sabios comparten paseos y tertulias sin más obligaciones que las que se impongan ellos mismos de creatividad intelectual.

Einstein ya no dejará nunca Princeton, allí, con sus muchachos, trabajará en la gran tarea, la que no logrará acabar, la que le hará pasar de la esperanza al pesimismo, la que le dará tormentos. La gran unificación queda todavía hoy como reto.

Curiosamente lo que más trasciende de este periodo son las objeciones de Einstein a la interpretación de Copenhague de la Mecánica Cuántica (QM). Con la convicción de que *Dios no juega a los dados*, el equipo de Einstein elabora unas paradojas cuánticas que consiguen el efecto contrario: asentar mejor la QM. Hasta ahora ha sido Niels Bohr el ganador: *Quiénes somos nosotros para decirle a Dios cómo tiene que ser el mundo.*

Las metáforas teológicas en científicos escépticos siempre han sido muy ingeniosas.

La segunda guerra mundial lleva a Einstein a colaborar –pese a sus convicciones pacifistas– en el esfuerzo bélico: trabajará en problemas prácticos de la marina. Los problemas que tenía que resolver no eran los estratégicos: el FBI ya tenía prevención contra un hombre considerado de dudosa fidelidad.



Einstein en su juventud

Necesito más matemáticas

La lucha por las matemáticas adecuadas para la Teoría Unificada consume los últimos veinte años de Einstein. Dejemos que sea un brillante biógrafo, el físico ruso Koutnev quien los resuma:

En los años de Princeton, Einstein hablaba de tormento matemático. Un drama humano, el sabio luchaba casi en solitario –desarrollando complejas construcciones mate-

máticas– en un camino que según los que le rodeaban no llevaba a ninguna parte.

Para esos momentos ya la visión einsteiniana se había vuelto hacia las matemáticas. La experiencia de la Relatividad General había sido determinante, así lo expresa Koutnesov:

Las discusiones de Einstein con Grossmann reflejaban los enormes cambios ocurridos en las relaciones entre la matemática y la física. Como sabemos, Einstein distinguía en la evolución de la matemática el periodo en que era considerada como una ciencia semiempírica del periodo siguiente, durante el cual la matemática se independizó de la física. En el curso del tercer periodo, la matemática, sin regresar a las nociones empíricas primitivas, se asoció con las experiencias físicas susceptibles de responder a la cuestión de la realidad de las cuestiones matemáticas.

Cuanto más lejos avanzaba Einstein más necesidad tenía de matemáticas: *Necesito más matemáticas* fue su obsesión. En 1938 escribía a su amigo Solovine:

Trabajo con mis muchachos en una teoría sumamente interesante, con la que espero vencer la mística probabilista actual [QM] y el alejamiento que se experimenta de la noción de realidad en el terreno físico... La teoría unitaria de campos está terminada. Pero es tan difícil emplearla matemáticamente, que pese a todo el trabajo que me he tomado, no soy capaz de verificarla de ninguna manera. Esta situación aún durará muchos años.

Einstein no pudo resolver la complejidad del problema. En su singular autobiografía, que él llamaba necrológica, está el más directo testimonio:

Han pasado cuarenta años desde la elaboración de la teoría de la gravitación. Estuvieron consagrados enteramente al único propósito de generalizar la teoría gravitacional y de desarrollar una teoría de los campos capaz de convertirse en la base de toda la física... los diez últimos años han conducido a una teoría que me parece natural y prometedora, aunque sea incapaz de decir, si probará o no que posee un valor a los ojos de la física. Esta incertidumbre se debe a insuperables dificultades matemáticas que, sin embargo, son inevitables en toda teoría no lineal de campos.

No hay amargura, Albert cita a Lessing: la búsqueda de la verdad es más importante que su posesión.

España en el corazón

Se puede escribir un artículo sobre Einstein y las matemáticas sin hablar de algunas de sus grandes pasiones: el violín y la filosofía. Pero no comentar el compromiso ético de toda una vida con los oprimidos y desfavorecidos es imposible. Albert nunca se consideró obligado a defender sus teorías científicas, era de la opinión que la verdad natural se defiende sola. No

ocurría así cuando se trataba de justicia social –no era como la justicia científica– ahí sí tenía que levantar la voz.

Einstein dedicaba mucho tiempo a analizar las peticiones de ayuda que recibía, pues fueron aumentando con el tiempo. Nunca declinó la de los republicanos españoles. Como para toda su generación de intelectuales, la causa de España fue materia de gran impacto.

Ante la amenaza nazi, Einstein escribió la celebre carta a Roosevelt alertando sobre el peligro nuclear en manos de Hitler. Después centró sus esfuerzos en evitar su uso, encabezando el movimiento de científicos por la paz.



Y como triste paradoja, descalificados en el año 2000 los expedientes del FBI sobre Einstein, nos encontramos con una investigación continuada que ocupa 1800 páginas para inculpar a Einstein de actividades antiamericanas. El sabio a cuya cabeza el nazismo puso precio, que conoció cómo quemaron su casa de campo de Alemania, que vio la supresión de sus libros en su país de nacimiento... afortunadamente no llegó a conocer que en su nueva patria el FBI utilizaría alguno de los bulos nazis.

El consejo de Einstein en 1931 sobre el trabajo del científico merece estar expuesto en todas las aulas:

No olvidéis nunca en medio de vuestros diagramas y ecuaciones... la preocupación por el hombre mismo... con el fin de que las creaciones de vuestra mente sean una bendición y no una maldición.

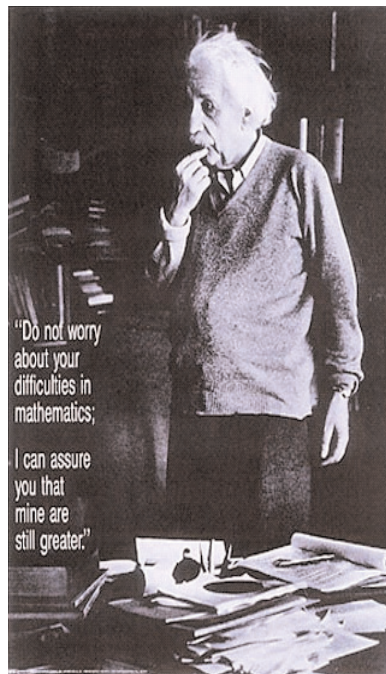
Einstein pasó muchos años trabajando sobre construcciones matemáticas complejas... sin embargo sus construcciones teóricas comprendían siempre principios simples y claros.

Recapitulación matemática

Sorprende que en el gran mundo virtual que llamamos internet no se encuentre un enorme caudal de información con la entrada en los buscadores “Einstein - matemáticas”. Curiosamente aparecen a la venta unos carteles –véase reproducción– con una cita que puede confundir: no te preocupes por tus dificultades matemáticas, puedo asegurar que las mías son todavía mayores. Quien no conozca el contexto puede erróneamente deducir un escaso conocimiento o desinterés de Einstein, nada más lejos de la verdad; la frase responde a su angustia final, cuando sus preocupaciones matemáticas no pueden ser mayores: *necesito más matemáticas*.

El hilo conductor de este artículo está resumido en la cita inicial: *el principio creativo reside en las matemáticas*. En efecto:

Una teoría puede ser sometida a la prueba de la experiencia, pero no hay camino que lleve de la experiencia a la formulación de una teoría. Ecuaciones tan complejas como las del campo gravitatorio sólo pueden ser expresadas porque se encuentre una condición matemática, simple desde el punto de vista lógico, que determina por completo, o casi, dichas ecuaciones. ■



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DÜRRENMATT, F. (1983): *Albert Einstein*, Tusquets, Barcelona.
- BODANIS, D. (2002): *E = m c²*, Planeta, Barcelona.
- EINSTEIN, A. (2001): *Einstein 1905: un año milagroso*, Ed. John Stachel, Editorial Crítica, Madrid.
- EINSTEIN, A. (1980): *Mi visión del mundo*, Tusquets, Barcelona.
- EINSTEIN, A. (1981): *Mis ideas y opiniones*, Antoni Bosch editor, Barcelona.
- EINSTEIN, A. (1984): *Notas autobiográficas*, Alianza, Madrid.
- EINSTEIN, A. (1950): *La relatividad. Memorias originales de 1905 y 1916*, Emecé editores, Buenos Aires.
- HOLTON, G. (1998): *Einstein, historia y otras pasiones*, Taurus.
- JEROME, F. (2002): *El expediente Einstein*, Planeta, Barcelona.
- KOUZNETSOV, B. (1975): *Einstein*, CVS ediciones, Madrid.
- LICHNEROWICZ, A. (1968): *Elementos de calculo tensorial*, Aguilar, Madrid.