



PUERTOS

Albert Einstein: un retrato multifacético

MARCO A.
MARTÍNEZ
NEGRETE*

* Doctor en Física por la UNAM. Profesor de carrera de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Ha publicado innumerables artículos e investigaciones sobre temas como la nucleoelectricidad, termodinámica y sustentabilidad, entre otros.

Hasta el día de hoy pocos científicos han tenido un efecto tan grande en la física como Albert Einstein. Su influencia en la sociedad ha sido considerable tanto por las repercusiones tecnológicas de su obra científica como por su participación en múltiples aspectos vitales de la sociedad de su época, así en forma activa como escrita.

Sin duda alguna, la posibilidad que tuvo de influir en los asuntos sociales se debió a la extraordinaria notoriedad que alcanzó gracias a su obra científica, en particular con su teoría general de la relatividad. Sus logros, sin embargo, son muy ricos en otras ramas de la física y sin exageración puede decirse que todos ellos son piedra de toque de la mayor parte de las investigaciones actuales. Pero en su obra destacan tres de sus tempranas contribuciones, casi sus primeras, publicadas en 1905 en el mismo volumen 17 de la revista alemana *Annalen der Physik* (AdP, en adelante). Estos artículos son tan importantes que, como nunca antes ha sucedido con ningún otro físico, han dado ocasión para que se organice un festejo mundial con motivo del centenario de su publicación; se trata de la vigente conmemoración llamada Año mundial de la física. (Los físicos suelen referirse al año de 1905 como el *annus mirabilis*.)

En lo que sigue explicaré en forma breve el contenido de los tres famosos artículos de Einstein de 1905, otros de sus logros posteriores en física, su participación en otras cuestiones sociales y, por consideración al carácter de la presente revista, sus opiniones sobre educación.

Brevísima semblanza de un hombre de genio

La primera infancia de Einstein transcurre en Alemania y, para quien sostenga que “infancia es destino”, vale la pena anotar que su padre Hermann y el hermano de éste, Jacob, dirigían en Munich una fábrica de aparatos eléctricos, de modo que la electricidad y el magnetismo con seguridad fueron parte de las pláticas familiares y un indudable antecedente de su teoría de la relatividad especial de 1905. Ya a la edad de catorce o quince años (según el propio Einstein recuerda en 1950) envía a Bélgica, a su tío materno César Koch, un ensayo titulado “Una investigación sobre el estado del éter en un campo magnético”.

Nace el 14 de marzo de 1879, a las 11:30 am, en Ulm. En 1880 la familia se cambia a Munich, en donde nace su hermana María y transcurre su educación básica. Entre 1891 y 1895 estudia por su cuenta matemáticas avanzadas, incluyendo el cálculo diferencial e integral. Luego, en 1894, la familia se muda a Italia, primero a Milán, después a Padua y posteriormente regresa a Milán. Einstein permanece en Munich para terminar la escuela (equivalente a la preparatoria), que abandona para reunirse con la familia en Padua. Decide inscribirse en el Instituto Federal de Tecnología de Zurich, pero no pasa el examen de admisión, aunque logra excelentes calificaciones en matemáticas y física. Cursa entonces un año en la escuela preparatoria





suiza del cantón de Aarau, al término del cual en 1896, obtiene el ingreso al Instituto, en donde estudia física.

En 1900 obtiene su grado. En 1902 consigue trabajo en la oficina de patentes de Berna, en donde permanece hasta 1909 (en los primeros años realiza sus tres primeras grandes contribuciones a la física). En 1905 recibe el grado de doctor por la Universidad de Zurich con la tesis *Una nueva definición de las dimensiones moleculares*, en 1909 fue profesor asociado en la misma universidad, en 1910 se cambia con el puesto de profesor a la Universidad de Praga, y en 1912 regresa a Zurich. En 1913 se traslada a Alemania como profesor de la Universidad de Berlín y es nombrado miembro de la Academia Prusiana de Ciencias. Permanece en Alemania durante la primera guerra mundial y la república de Weimar, para finalmente mudarse a Estados Unidos en 1933 como consecuencia del nazismo. Muere el 18 de abril de 1955 en Princeton.

En su infancia estudió violín y continuó tocando este instrumento durante toda su vida. La pasión por la música es un componente muy importante de su personalidad, tanto que hasta formó parte de su estilo de trabajo (como se verá enseguida). Viajó por varios países dando pláticas sobre su obra científica, pero también sobre la paz y el desarme, ya como un personaje público. Casó en 1903 con una condiscípula, Mileva Maric, con quien tuvo tres hijos, primero una hija cuya suerte se desconoce, y luego dos hijos. El mayor, Hans Albert, radicó en Estados Unidos donde trabajó como ingeniero en California y el menor, Eduardo, víctima de un desorden mental crónico permaneció en una institución psiquiátrica suiza. En 1918 inicia el proceso de divorcio de Mileva, acordando darle el importe del premio Nobel en ciernes. En 1919 se casa con su prima Elsa con quien vive hasta su muerte. Al parecer, en ninguno de sus dos matrimonios fue feliz, aunque la correspondencia con Mileva refleja su gran amor por ella y el contento por la vida en común durante los primeros años de su matrimonio.

Dos de sus colaboradores, P. G. Bergmann y N. Rosen, nos han dejado sus observaciones sobre el estilo de trabajo de Einstein. Primeramente destacaba por su tremenda persistencia, pues una

vez que percibía los problemas realmente importantes, nunca los abandonaba. Si encontraba el camino cerrado dejaba el problema por un tiempo y atacaba entre tanto otro igualmente interesante, para después regresar al primero. Con frecuencia hacía pausas para tocar el violín y que la mente trabajara sola en el problema. Así, tardó diez años en formular la teoría de la relatividad especial, de la que enfrentó los primeros problemas a los dieciséis años; de manera similar sucedió con la teoría general de la relatividad: la primera idea sobre ella la tuvo ocho años antes de su formulación final. En segundo lugar, siempre trataba las dificultades con nuevos enfoques o con nuevos trucos matemáticos, lo que habla del ejercicio constante de la creatividad. En tercer lugar, tenía una enorme capacidad para dar un paso atrás en su trabajo científico y fríamente observarlo, lo que es raro hoy en día, no dudando en abandonarlo al percibir una falla fatal. Era capaz de retornar con una idea completamente diferente, incluso en un lapso de días. De la simple idea que era, por regla autoimpuesta, la más sencilla, empezaba a construir la teoría, paso a paso.

Einstein enfrentó su fama con modestia y sentido del humor. El año de 1919 marca el inicio de su conversión en figura pública de fama mundial; ese año un equipo de científicos ingleses mide la desviación de la luz de una estrella al pasar cerca del Sol durante el eclipse solar y comprueba que corresponde al valor predicho por su teoría general de la relatividad formulada en 1915 (aunque la primera predicción la realiza desde 1907, mediante un cálculo aproximado). Se le compara en los periódicos con Copérnico, con Newton, con los grandes diseñadores de nuestra imagen del universo y es convertido en el nuevo gurú que logra destronar a este último. Alternó con todo tipo de gente, desde los más humildes hasta los más famosos y poderosos (fue invitado, incluso, a formar parte de éstos cuando en 1952, quizá como consecuencia de su activismo sionista, se le ofreció la presidencia de Israel a la muerte de su primer presidente, Chaim Weizmann). Solía tocar música de cámara con la reina madre de Bélgica, ella al piano, él al violín. A ella le escribió, como respuesta a la felicitación por el que sería su último cumpleaños:

Siempre trataba las dificultades con nuevos enfoques o con nuevos trucos matemáticos, lo que habla del ejercicio constante de la creatividad

Debo confesar que la exagerada estimación en que se ha mantenido mi obra hace que me sienta sin remedio enfermo. Me siento obligado a pensar de mí mismo como un estafador involuntario. Pero si trato de hacer algo al respecto solamente logro empeorar la situación.

Una idea de la intensidad de su fama nos la puede dar la comparación con los Beatles, pues ambos fueron recibidos en ciudades estadounidenses en automóvil descubierto, con confeti, y hubo actos de histerismo durante sus actuaciones. Ya en 1921, al tratar de explicar el entusiasmo masivo por su persona, dijo que “parecía psicopatológico”. Pero, con tal de combatir el nazifascismo, utilizó esta fama todo lo que pudo, como cuando en 1943 escribió a mano una copia del artículo de la relatividad de 1905, que se logró subastar en seis y medio millones de dólares, que fueron a un fondo para la guerra contra los países del Eje. La copia manual de otro artículo sobre relatividad consiguió cinco millones de dólares adicionales para el mismo fin.

Los artículos de 1905

El primer trabajo titulado “En torno a un enfoque heurístico sobre la emisión y transformación de la luz”, recibido por la AdP el 18 de marzo, versa sobre la interacción energética entre la radiación electromagnética (como la luz visible, en el caso de cierto intervalo de frecuencias) y los cuerpos materiales, por ejemplo un metal. Conforme la suposición, que el mismo autor califica de “revolucionaria”, de que “la radiación electromagnética monocromática [el color se fija por la frecuencia] se comporta termodinámicamente como si consistiera de cuantos de energía mutuamente independientes de magnitud $h\nu$ ” (siendo h la constante de Planck y ν la frecuencia de la radiación), Einstein logra explicar teóricamente los hechos experimentales referentes a la emisión de electrones de superficies metálicas por causa de la radiación. Éste es el llamado “efecto fotoeléctrico” observado varios años antes y medido por varios investigadores, sin que hasta entonces se le pudiera dar explicación.

A esta publicación se le conoce de forma

inadecuada como “el artículo del efecto fotoeléctrico”, porque el término encubre precisamente lo más importante del trabajo: el hecho de que la radiación está compuesta de “paquetes” de energía, que se propagan e interactúan como corpúsculos con otros cuerpos.

El carácter revolucionario de este trabajo de Einstein se explica en el contexto de la época, en que se creía que la luz era una onda y las interacciones mecánicas y electromagnéticas entre los cuerpos eran necesariamente continuas, sin saltos. Pero la idea del fotón y la explicación del efecto fotoeléctrico, cuestionan en forma radical las suposiciones de la física del continuo energético que se creían bien establecidas por la mecánica clásica de Newton y la teoría electromagnética de Maxwell. Para Max Planck, por ejemplo, se trataba de una hipótesis “audaz”, a pesar de que él propusiera previamente en 1900 la también revolucionaria hipótesis (que consideró como una suposición meramente *ad hoc*) de que los osciladores de las paredes de una cavidad (el famoso “cuerpo negro”) emitían y absorbían energía en forma discreta, cuantizada, porque sus niveles energéticos eran discretos, discontinuos, muy en contra de las teorías clásicas vigentes. Hay que mencionar dos puntos aquí: primero, el mismo Planck no dudaría más tarde en calificar a Einstein como un moderno Copérnico y, en cuanto a la naturaleza de la luz, décadas después éste le escribiría a su amigo de toda la vida, Michelangelo Besso: “Todos estos cincuenta años de consideraciones no me han acercado a la contestación de la pregunta, ¿Qué son los cuantos de luz?”.

Este trabajo abre el camino a las investigaciones que luego llevan a la formulación por otros (Schrödinger, Heisenberg, Dirac) de la mecánica cuántica al final de la década de los veinte, teoría que tanta importancia tiene en nuestra vida. Aunque se considera terminada la teoría en esos años, su interpretación física es aún motivo de acaloradas discusiones entre los físicos. Einstein trató de llegar a una formulación causal, al tratar de eliminar de ella el elemento probabilista, motivo por el cual se mantuvo de nuevo casi solo contra el mundo. De este tiempo son sus debates con Born, pero sobre todo con Bohr, ambos miembros de la



llamada “interpretación de Copenhague” de la mecánica cuántica.

Por esta contribución se le concedió a Einstein el premio Nobel de Física correspondiente al año de 1921. Dice la mención: “A Albert Einstein, por sus servicios a la física teórica y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico”. Curiosamente, no hay referencia a las teorías de la relatividad especial y general.

El segundo trabajo, “Sobre el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario requerido por la teoría cinéticomolecular del calor”, lo recibe la AdP el 11 de mayo. Se le conoce como “el artículo del movimiento browniano”. Como sucedió con el artículo anterior, esta denominación popular también es inadecuada, pues al parecer Einstein no estaba enterado de lo escrito sobre tal tipo de movimiento, el cual había sido reportado desde 1828. Tampoco se disponía de una explicación teórica de los datos de laboratorio.

Einstein aplica argumentos estadísticos al movimiento de partículas pequeñas suspendidas en un líquido coloidal, suponiendo que se mueven en forma caótica como consecuencia de los impactos con las moléculas del coloide, que también se desplazan azarosamente. Así logra determinar, entre otras importantes cosas, el desplazamiento promedio de las partículas en relación con el tiempo y, aún más importante, el tamaño de las moléculas a través de su relación con el coeficiente de viscosidad y la temperatura (cantidades medibles), para calcular finalmente la cantidad de moléculas que hay en un gramo de sustancia. De esta forma consigue fundamentar la existencia de las moléculas y los átomos, es decir, la estructura discreta, discontinua, de la materia, cuestión que era motivo de intensos debates en la época. No todos los científicos creían en los átomos, entre ellos los famosos Mach y Ostwald (ganador éste del premio Nobel de química de 1909, al poco tiempo de convertirse al atomismo). Richard P. Feynman (1987), premio Nobel de física de 1965 pone en perspectiva histórica la trascendencia de este trabajo de Einstein al sostener que la existencia de los átomos es la hipótesis más importante de la física moderna.

La tercera contribución llega a la AdP el 30 de

junio, con el título “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”. Se trata de “el artículo sobre la relatividad especial”, título que, como en los casos anteriores, es inapropiado. La diferencia es que en este caso el propio Einstein habría estado en desacuerdo sobre la base de que aceptaba que el término “relatividad” no reflejaba con precisión el significado físico de su teoría, que debió ser llamada de otro modo. En su correspondencia parecía más feliz con el término *Invariantentheorie* (teoría de la invariancia) que con el término universalmente empleado.

En este punto una *sui generis* digresión explicativa sobre el quehacer de los físicos, que creo Einstein ilustra muy bien, ayudará a entender mejor no sólo el párrafo anterior, la teoría de la relatividad especial y los dos trabajos anteriores, sino también la teoría de la relatividad general, al menos en cuanto a las intenciones de estos científicos.

Los físicos tratan con entes que llaman “objetos físicos”, aunque por lo general no se preocupan por dar una definición explícita del concepto de “objetividad” y, la mayoría de las veces, lo emplean como sinónimo de “realidad”, cuando por esto se entiende “lo que es independiente del sujeto”. Sin embargo, al construir las teorías de los “objetos físicos” fijan normas al proceso, de las que se puede deducir una definición subyacente de “objetividad”. Queda implícito que quienes hacen las teorías son los científicos, los cuales son el “sujeto” creador de ellas. Por “sujeto” se entiende al investigador u observador, junto con sus aparatos de observación y medición (relojes, reglas, etcétera) y un marco de referencia con respecto al cual hacer la descripción del “objeto físico” (por ejemplo para medir respecto a él su posición, velocidad, orientación, tiempo de los sucesos...). Los entes dignos de llamarse “objetos físicos” son aquellos que cumplen al menos dos condiciones: Deben ser los mismos para cualquier sujeto (a esta propiedad la llamaremos sujeto-invariancia, representada por *SI* en adelante); deben mostrar acuerdo entre su comportamiento empírico (como lo observan y miden los sujetos) y el comportamiento que se deduce teóricamente de los axiomas y el aparato matemático que se postulan como característicos de ellos (Martínez-Negrete, 1999).



Así planteado, el objeto físico consiste de tres cosas: el ente físico original en el que los sujetos fijaron su atención, los axiomas que se postulan válidos para el ente físico, y un aparato matemático en que observaciones, mediciones y axiomas se expresan (“los objetos también tienen teoría”, suele decirse abreviadamente, como en el caso del péndulo). En resumen: los físicos (paradigmáticamente Einstein) andan a la caza de objetos, es decir de entes con la propiedad SI, sistemas físicos “absolutos”, que es precisamente lo opuesto a “relativos”. Como dicen en otros ámbitos, el objeto físico es así un “constructo” y puede o no coincidir con lo real (puesto que lo sujeto-invariante no tiene por qué ser lo sujeto-independiente, aunque el sentido común diga que sí).

En estos términos, el primer artículo se basa en un objeto SI, la radiación de cuerpo negro que, como vimos, Einstein sugiere que está formada de cuantos de energía luminosa. Al ser la radiación de cuerpo negro objetiva, objetivos serán sus cuantos de energía. Pero, ¿por qué la radiación del cuerpo negro es objetiva? Tiempo atrás Kirchhoff había mostrado que la radiación de un cuerpo negro es igual a la de una cavidad, y demostrado que, con base en la objetiva segunda ley de la termodinámica, la radiación no depende de las características geométricas ni de la naturaleza de los materiales con que la cavidad se construye, es decir, la radiación dentro de ella es SI. (El lector puede hacer una cavidad con sus manos y observar que, en efecto, el interior se ve negro; y la negrura no depende de la forma como acomode las manos, ni de si las manos son de un amigo o en vez de manos se usa un cartón u otro material cualquiera.) El segundo artículo se basa en la objetividad del movimiento browniano, pues sus características habían sido determinadas como invariantes por múltiples sujetos observadores, y en la hipótesis de que el coloide está formado por moléculas. La coincidencia de la cantidad de moléculas en un gramo de sustancia (más específicamente, el número de Avogadro), con los valores obtenidos con otros métodos por otros investigadores (existencia de la propiedad SI), permite hablar de una objetividad derivada para dichas moléculas.

Del mismo modo, el tercer artículo de Einstein

se refiere a la construcción de un objeto físico que obedece los dos axiomas o postulados SI siguientes.

1) Es el mismo para todos los sujetos cuyos marcos de referencia son inerciales, es decir, para los sujetos que se mueven unos respecto a otros con velocidad relativa constante (ejemplo: las leyes físicas de interacción de todos los cuerpos mecánicos son las mismas para un observador parado en el suelo de una estación ferroviaria, que para un observador que viaja en la plataforma de un tren que pasa a velocidad constante por dicha estación; así, la pelota que se avienta sobre la plataforma del tren caerá parabólicamente, tanto para un observador situado en ella como para un observador situado en la estación). Si bien el objeto físico de la mecánica de Newton satisface este axioma, conocido como el “principio de relatividad”, Einstein marca una gran diferencia con él al postular su segundo axioma.

2) La luz (en realidad, toda radiación electromagnética) se propaga con igual rapidez en todos los sistemas inerciales (en otras palabras, la luz es también SI). Esto quiere decir, en el ejemplo de los observadores situados en el tren en movimiento y en la estación, que si un foco se prende en un vagón del tren, un observador situado en él medirá una rapidez de propagación igual a la que mida un observador parado en la estación. Este axioma, que no es más que la extensión de la validez del principio de relatividad a la luz, sí que rompe de forma radical con las reglas de suma de velocidades de nuestro sentido común, por lo siguiente: Supongamos que el tren se acerca a la estación con una rapidez de 100 km/h, y que un aparato sobre la parte trasera de un vagón arroja una pelota con una rapidez de 20 km/h contra un pasajero sentado en la parte delantera; el sentido común dice que el pasajero en el vagón ve acercarse la pelota a 20 km/h, mientras que el observador parado en la estación verá que la pelota se le acerca a 120 km/h. Sin embargo, si en vez de pelota lo que el aparato lanza es luz, Einstein nos dice algo inusitado: que ambos observadores la verán acercarse con la misma rapidez. Lo sorprendente es que los dos postulados son necesarios para explicar la crisis en que estaban la mecánica y el electromagnetismo en aquel entonces, respecto al comportamiento de la luz.



Einstein dio cuenta de esa crisis, pero al precio de la ruptura con el sentido común, y la modificación fundamental de los conceptos de espacio y de tiempo, los que pasan a ser propiedades que dependen del observador y su marco de referencia (perdiendo así su carácter objetivo o “absoluto”, al no ser si). De esto se desprenden conclusiones sorprendentes, como que los relojes marchan a ritmos distintos y que los tamaños de los objetos cambian, según sea el estado de movimiento relativo a velocidad constante entre los observadores.

Un poco más tarde, pero en el mismo año de 1905 y en la misma revista, Einstein deduce como consecuencia del trabajo anterior la famosísima fórmula $E=mc^2$, que expresa la equivalencia entre masa y energía y constituye una de las bases físicas detrás en la construcción de las bombas atómicas.

(Tremenda ironía en la vida de un convencido pacifista.)

En 1907 Einstein empieza a pensar en generalizar la si del objeto relativista para sujetos que se mueven unos respecto a otros de manera acelerada, y no nada más a velocidad constante como en el caso del objeto de la relatividad especial. A partir de lo que llama el “principio de equivalencia”, el cual afirma que un marco de referencia acelerado equivale a un campo gravitatorio, (“la idea más feliz de mi vida” como se refiere a ella más tarde), logra la formulación final de su teoría general de la relatividad ocho años después en 1915. Dentro de las posibles deducciones del nuevo objeto se encuentran: el desplazamiento del perihelio del planeta mercurio, la desviación de la luz de una estrella al pasar cerca del disco solar y el corrimiento al rojo



Fragmento de la serie Este – Oeste Berlín



de la luz por la presencia de masas gravitatorias. Los dos primeros efectos ya se conocían, mientras que el tercero era una predicción desconocida de la teoría. En los tres casos las medidas concuerdan con las predichas por la teoría. En realidad la comprobación del segundo efecto por el equipo de Eddington, durante el eclipse de 1919, lanzó a Einstein a la fama mundial y lo convirtió así en un personaje casi idolatrado. Se le comparó de inmediato con los más grandes revolucionarios de la imagen del universo que la historia de la humanidad registra: Copérnico, Newton, Maxwell, y adquirió así un aura de respetabilidad y autoridad moral que potenció enormemente su influencia en la lucha por otras causas.

No podemos, por cuestiones de espacio, detenernos en sus demás logros, como “el artículo del láser” en 1917 o “el trabajo sobre calores específicos en sólidos” de 1906, que inaugura la física del estado sólido. Baste decir que los famosos hoyos negros, las ondas y las lentes gravitacionales, la estructura espacio-temporal de nuestro universo y la cosmología, son aspectos consecuentes de la teoría general que se investigan con gran energía en el presente, dando una actualidad indeclinable a su pensamiento en física.

Einstein trató hasta el último suspiro de su vida (esto es literal) de construir un objeto físico aún más general, que unificara los objetos gravitatorio y electromagnético; esperaba como consecuencia de ello derivar el objeto cuántico y todas sus propiedades, con la intención de dejar fuera la indeterminación (suya es la frase: “Dios no juega a los dados”). No logró su objetivo, pero al perseguirlo abrió de todos modos nuevos caminos de investigación.

Una última observación sobre los tres trabajos de 1905, muy importante para la educación de jóvenes científicos: su autor resolvió los problemas implicados a edad relativamente temprana, a los 26 años. A esta edad muchos grandes científicos han formulado ya sus ideas más trascendentes como Newton, Maxwell, Galois, Gauss, Heisenberg, Bohr, Dirac y tantos otros. Por esto es vital no sobrecargar al alumno con conocimientos, sino ponerlo en un ambiente en que pueda ejercitar su creatividad y su pensamiento independiente

lo más tempranamente posible, en la solución de problemas científicos relevantes. La escuela de física de Arnold Sommerfeld en Munich en los años 20, atestigua el éxito de este enfoque, al formar siete premios Nobel (Fernández-Rañada, 2004). Más adelante, en la sección sobre educación, Einstein abundará sobre esto.

En la experimentación y en la tecnología

Podría pensarse de lo expuesto que Einstein fue un científico dedicado solamente a los aspectos teóricos de la física, como dice la mención Nobel, pero no es del todo cierto. Para empezar, la inmensa mayoría de sus trabajos partía de hechos experimentales, y se encaminaban directamente a su explicación. Por consecuencia, podían derivar en técnicas susceptibles de aplicación social (sus patentes son prueba de ello). Él siempre estuvo pendiente de esto, de que su pensamiento teórico estuviera en conexión con los hechos empíricos.

Así, Einstein realizó experimentos, por lo general en colaboración, que trataron sobre refrigeración, audición, giromagnetismo y permeabilidad de membranas coloidales, etcétera. Con Leo Szilard, el físico húngaro quien le motivó a escribir cartas al presidente Roosevelt para el desarrollo de la bomba atómica, desarrolló ocho patentes alemanas (1927–1930), seis británicas (1927–1929), una estadounidense (1927), una suiza (1928) y una holandesa (1928). Con Goldschmidt en los años 20 desarrolló una patente para un aparato auditivo. En 1936 obtuvo una patente estadounidense, junto con el físico alemán Bucky, por un dispositivo fotoeléctrico. En varios periodos entre 1943 y 1946 realizó investigaciones sobre explosivos, desarrollo de bombas y armas subacuáticas para la Marina de Estados Unidos. Nunca trabajó en forma directa para el proyecto Manhattan, pero hizo un breve estudio para Vannevar Bush (director de la Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico de Estados Unidos) sobre difusión, conectado con la separación del uranio-238 del uranio-235 (el material explosivo con que se construyó una de las bombas empleadas contra Japón en 1945); más peticiones en este sentido no llegaron por desconfianza en él, ni siquiera de manera indirecta (como



en un inicio) por temor de ofrecerle más detalles, en contra del hermetismo en que se desenvolvía el proyecto de la bomba.

Einstein sigue influyendo en la vida cotidiana de la gran mayoría de las personas del planeta, directa o indirectamente, a través de la incorporación de sus ideas físicas en un gran despliegue de dispositivos y procesos técnicos. Entre los más conspicuos se tienen: las celdas fotoeléctricas, la captura de imágenes por la cámara de televisión, el grabado óptico del sonido en las películas de cine, la fotocomposición de páginas en libros y periódicos, las llamadas telefónicas a través de fibras ópticas, la generación de electricidad por celdas fotovoltaicas, etcétera. Todas estas aplicaciones técnicas son nietas del artículo del efecto fotoeléctrico de 1905. El láser, con su infinidad de aplicaciones en la ingeniería civil (para alineamiento en la construcción de carreteras, edificios, etcétera), la medicina y otras ramas, es progenie del artículo mencionado de 1917.

Las ideas cuánticas y de física estadística están detrás de la operación de los dispositivos de estado sólido, desde calculadoras hasta computadoras, radios de transistores y sistemas electrónicos de encendido, técnicas que son descendientes del artículo citado de 1906. Cuando nos tomamos una pastilla de vitaminas o de cualquier otra droga farmacéutica, es posible que en el proceso de producción comercial estén participando procesos de difusión, explicados primeramente en el artículo del movimiento browniano de 1905. En vista de que el magnetismo no es más que un efecto estrictamente relativista de la electricidad y la cinemática relativista, y nada más, no se precisa de mayor análisis para hablar de “la relatividad especial en la ingeniería”. Los sistemas generales de posicionamiento GPS (por sus siglas en inglés) utilizan las correcciones impuestas por la teoría general de la relatividad. ¿Y qué se puede decir de la influencia de su obra en el armamento nuclear, que aún pende como espada de Damocles sobre la supervivencia de la humanidad?

En otros ámbitos

Einstein fue un hombre comprometido con los

asuntos humanos de su tiempo. Además de sus radicales y profundas contribuciones en la física, también escribió ampliamente sobre cuestiones filosóficas, políticas, económicas, sociales, educativas, etcétera. Ahí cuestionó las corrientes filosóficas, la concepción del Estado. Se involucró en una lucha constante en pro de la libertad y la dignidad del individuo y en contra de la persecución y la guerra. Sus puntos de vista sobre la ciencia y la sociedad aún reverberan en campos distantes de la física como en psicología, lingüística, arte, en la ética de la ciencia y la tecnología. Como una muestra de su influencia en otros campos se tiene el caso del conocido psicólogo Jean Piaget (1978), quien en el primer párrafo de su libro publicado en 1946 señala que esa obra nació como sugerencia del propio Albert Einstein. Otros muchos científicos podrían acusar influencias semejantes, en otras ramas del saber.

Vivió dos guerras mundiales y murió en el transcurso de la tercera, la llamada “guerra fría” entre la URSS y Estados Unidos. Él estaba convencido de que, de pelearse ésta con armamento nuclear, la civilización desaparecería. Por ello fue que, después de la física, dirigiera su atención de manera preponderante a la solución de dos problemas íntimamente relacionados: el desarme y la paz. En ambas cuestiones fue un activista comprometido, y a ellas aplicó la originalidad de su pensamiento y la devoción de su acción, ésta muy fortalecida por la gran fama y respeto adquiridos por el reconocimiento de su obra científica.

Ya en 1914 firmó su, quizás, primer manifiesto en contra de otro en que intelectuales alemanes justificaban la invasión de Bélgica y hermanaban la cultura alemana con el militarismo. Si bien solamente fue firmado por cuatro personas, ello da constancia de su incondicional adherencia a sus convicciones, aunque estuviera en franca minoría. Casi de inmediato, al principio de 1915, ingresa a un recién formado grupo en contra de la guerra, La Liga por una Nueva Patria, y empieza a hacer las primeras propuestas concretas en contra de la guerra y en favor de la paz, que nunca deja de formular hasta una semana antes de su muerte, cuando el 11 de abril de 1955 firma el documento conocido como el Manifiesto Russell–Einstein,

Einstein sigue influyendo en la vida cotidiana de la gran mayoría de las personas del planeta, directa o indirectamente



El interés de Einstein en la educación no es marginal ni circunstancial sino que fue una preocupación constante a lo largo de su vida

promovido por aquél, en el que demandan de todas las naciones la renuncia a las armas nucleares. De esta proclama nace el movimiento internacional de científicos Pugwash, el cual durante décadas logra avances significativos, e influye en varios acuerdos y tratados entre los contendientes de la guerra fría, por ejemplo: el teléfono rojo entre Moscú y Washington, el tratado de limitación de pruebas nucleares y el inicio de negociaciones para un acuerdo de prohibición de defensas contra cohetes. (Por éstos y otros logros el Movimiento Pugwash obtuvo el premio Nobel de la paz en 1995.)

Entre 1914 y 1955 Einstein participó en varios grupos pro paz y desarme y generó múltiples propuestas que merecieron la atención y la consideración de importantes intelectuales y de los más poderosos gobiernos del planeta. La constante de estas propuestas se centra en la necesidad de una organización supranacional, el gobierno mundial, capaz de arbitrar y resolver los conflictos entre las naciones. Lo que cambia en el tiempo son las distintas maneras en que se imagina la consecución de esa meta, lo que no exponemos aquí. En sus últimas etapas de actuación propone una reestructuración de la Organización de las Naciones Unidas, en que la representación sea por elección directa y la máxima autoridad sea la Asamblea General. Con Freud mantuvo correspondencia y juntos escribieron en 1932 el documento “¿Por qué la guerra?” Al parecer, esta interacción con Freud le hizo reconsiderar sus ideas del sacrificio voluntario de soberanía nacional para el acceso a un gobierno mundial, por el de un organismo decisorio armado capaz de imponer los acuerdos logrados por vía de la negociación.

Uno de sus importantes análisis y propuestas se ubica en el reconocimiento del papel que juega la educación en el logro de la paz y el desarme. Afirma que las naciones deben educar a sus ciudadanos en el pacifismo, que no es una meta inalcanzable y que, por lo contrario, es la manera efectiva de evitar la guerra. Así, declara en 1931 que: “Las masas nunca son militaristas hasta que sus mentes son envenenadas por la propaganda”.

Einstein no era un pacifista absoluto sino que justificaba en circunstancias específicas el uso de la fuerza, sobre todo en contra de aquellos que,

como el nazismo, “atentaban contra la vida *per se*”. Agregó en 1958: “No solamente me opongo a la guerra contra Rusia sino a toda guerra, con la excepción anterior”. Por lo mismo, en sus primeras acciones justificaba la lucha contra el servicio militar en tiempos de paz, pero no así en tiempos de guerra contra un enemigo maligno. Aún más, propugnaba que los demás países europeos, como Bélgica, se armaran para resistir al nazismo. Por esto es importante citar lo que dijo en 1931, opinión que refleja la esencia de su pensamiento en estas cuestiones: “No solamente soy un pacifista sino un militante del pacifismo. Estoy dispuesto a pelear por la paz. Nada acabará con la guerra a menos que la gente misma rehúse participar en ella”.

Sin duda la congruencia con la posición anterior le lleva a escribir las dos cartas (agosto de 1939, marzo de 1940) al presidente Roosevelt, por instigación de Szilard, con el objeto de que Estados Unidos construya la bomba atómica, en previsión de que la Alemania de Hitler fuera el primero y único país que la consiguiera. Por lo mismo, tal vez, siguió colaborando con la Marina de Estados Unidos, durante los años de la guerra. Sin embargo, Einstein condenó públicamente el uso de las bombas contra Japón y declaró que jamás habría aceptado el bombardeo nuclear en contra de Alemania.

En la educación

El interés de Einstein en la educación no es marginal ni circunstancial sino que fue una preocupación constante a lo largo de su vida. Como alumno sufrió la mayor parte del tiempo los efectos de un sistema escolarizado rígido y autoritario y gozó, la menor parte del tiempo (un año escolar), de un ambiente libertario y estimulante. Esta feliz ocasión se dio cuando entre los dieciséis y los diecisiete años asistió a la escuela cantonal de Aarau en Suiza, como preparación para el ingreso al Instituto Federal de Tecnología de Zurich, en donde estudiaría física. En esta institución, como en todas las demás, con excepción de la de Aarau, Einstein expresó el agobio sufrido por una educación verbalista y mecanizada sobre el desarrollo libre e independiente de su personalidad. La razón



de la inadaptación puede estar en lo que Einstein en 1934 dice de sí, respecto a la cultura en que fue educado: “La búsqueda del conocimiento por sí mismo, un casi fanático amor por la justicia y el deseo de independencia personal, son las características de la tradición judía que me hacen dar gracias a mi suerte por pertenecer a ella” (Einstein, 1963, p. 185).

En todo caso podría decirse que estos ideales de la tradición judía tuvieron un excepcional éxito en la persona de Einstein, al grado de que siempre le resultó difícil adaptarse a cualquier situación restrictiva, fuera impuesta por personas, instituciones o sistemas de pensamiento. Por eso afirma, al escribir a una niña en 1934 que: “Yo sufrí de manos de mis profesores un tratamiento semejante; les desagradaba por mi independencia y me brincaban cuando requerían de asistentes” (Einstein, 1963, p. 56). Aquí se refiere a su experiencia negativa con algunos profesores del Instituto de Zurich, situación que no le favoreció para encontrar trabajo.

Por lo contrario, la escuela cantonal de Aarau, a juzgar por las descripciones que de ella hace el mismo Einstein, ofrecía una educación más a su modo, posiblemente basada en las ideas de Pestalozzi. El diseño de la escuela ideal que nos ofrece, sobre todo en 1936 en su escrito “Sobre la educación”, parece adecuarse a tal modelo (Einstein, 1963, p. 59). En seguida haré un breve resumen de este escrito, del que puede apreciarse que Einstein procede con el enfoque que aplica al tratamiento de los otros problemas científicos: parte de los hechos experimentales, trata de borrar prejuicios y les aplica el poder genial de su mente, buscando profundidad y generalidad en los nuevos planteamientos.

La ocasión que propicia el escrito fue la invitación a hablar en la celebración del tricentenario de la educación superior en Estados Unidos, en la ciudad de Albany, Nueva York, el 15 de octubre de 1936. Se atreve a hablar, afirma, sobre un tema en que no es especialista porque en lo referente a las actividades de los seres humanos, que afectan a otros, “todos tenemos el deber de opinar”. En este sentido reafirma concepciones vertidas en otras partes, acerca de que no sólo los expertos, por ejemplo en ciencia y tecnología, tienen el derecho de opinar y decidir sobre ellas. Por eso escribe en 1946 el en-

sayo: “¿Por qué el socialismo?”, viéndolo como un tema de economía, si bien él era físico de formación (Einstein, 1963). Este derecho lo reivindica para cualquier persona. Las ideas centrales de Einstein sobre educación pueden resumirse como sigue.

La escuela debe educar para la vida, al inculcar en el alumno el deseo y la capacidad para contribuir al bienestar de la comunidad, sin por ello dejar de desarrollar su individualidad. Para ello es necesaria la formación de individuos de pensamiento crítico e independiente, con una personalidad generosa más propensa a dar que a recibir, alejada de la sola consecución de bienes materiales. Estas actitudes y capacidades se enseñan en la acción y en el ejemplo, siendo por ello necesario profesores educados en un semejante contexto de libertad e independencia, y un sistema escolar con métodos operativos alejados de la coerción y la fuerza, tanto en contra de estudiantes como de profesores.

Aun en las escuelas técnicas especializadas el hincapié debe ponerse en la formación integral de personas con pensamiento independiente y universal pues, de llegar a poseer estos atributos, podrán ejercitar su creatividad con mayor profundidad en su especialidad que aquellos educados con miras más estrechas. En este sentido, contenidos y métodos adquieren un aspecto secundario.

La educación, siendo para la vida, debe centrarse en el desarrollo de aptitudes para la solidaridad entre los seres humanos, y nunca para la aniquilante competencia entre ellos. “Así como nada tiene que ver la batalla individual entre hormigas en un hormiguero para su supervivencia, así de poquito es el caso con los miembros de una comunidad humana”. En relación con esto, Einstein adjudicaba un papel relevante a la religión y al régimen económico socialista (Einstein, 1963). A la primera por ser la decantadora de los altos valores humanos que la humanidad ha acumulado a lo largo de su historia, y al segundo por proporcionar la base económica de una relación social más justa y equitativa entre los humanos que la proporcionada por el sistema capitalista, “mutilante de la conciencia social de los individuos”. Aquí mismo afirma que el socialismo es el único camino para la eliminación de este grave peligro. Pero aparte del capitalismo, Einstein con-



Fragmento de la serie *Exit* — *Oeste Berlín*



cebía otros dos sistemas como principales barreras para el progreso de la humanidad: el militarismo y el patriotismo, pues ambos corrompen “el alma y el espíritu de la juventud y afectaban adversamente la mentalidad de los adultos”.

Espero haber mostrado que Einstein fue un personaje genial, revolucionario de la visión del universo, multifacético, genuinamente preocupado por la supervivencia y el bienestar de los seres humanos, fiel a su ideal educativo de pensamiento crítico e independiente. Tal vez el párrafo que mejor resuma su esencia sea el siguiente, de Luis De Broglie, físico francés ganador también de un premio Nobel, por sugerir que no sólo las ondas luminosas tienen comportamiento de corpúsculos materiales, como aseveró Einstein, sino que también los corpúsculos tienen comportamiento ondulatorio: “Albert Einstein no fue solamente un espíritu sino también un gran corazón al cual nada que fuera humano le era extraño; no hay por qué asombrarse; la ansiedad ante la suerte y el porvenir de los hombres no deja de estar en relación con la

angustia ante los enigmas del mundo físico, pues ellas hunden —una y otra— sus raíces en el mismo misterio del ser”.

P.D. Nuestra idolatría por Einstein es tan grande que con seguridad el año 2015 lo estaremos dedicando a celebraciones semejantes a la actual, con motivo del centenario de la publicación de su artículo sobre la teoría general de la relatividad. ¿Apostamos?

Referencias

- Albert, E. (1963). *Ideas and opinions*. EUA: Crown.
- Fernández-Rañada, A. (2004). Heisenberg. España: Nivola.
- Feynman, R. P. (1987). *Física*, vol.1. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Martínez Negrete, M. A. (1999). La construcción del objeto físico en la enseñanza de la termodinámica y la mecánica. *Revista Mexicana de Física*, 45 (4), 405–413.
- Piaget, J. (1978). *El desarrollo de la noción del tiempo en el niño*. México: FCE.