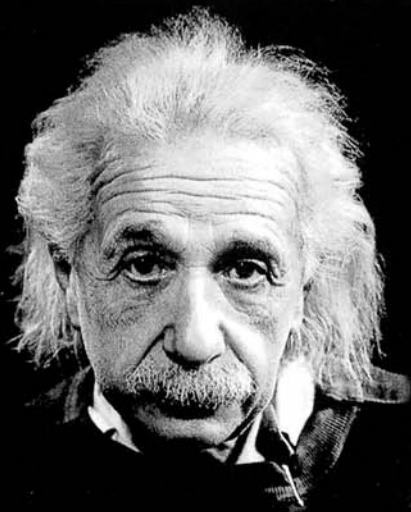




LA REVOLUCIÓN CUMPLE CIEN AÑOS*

Ignacio F. Bayo
(Divulga)

La Física de principios del siglo XX era un sólido edificio, soportado por pilares en apariencia incommovibles y profundos, que garantizaban su perdurabilidad. Todo descansaba, en última instancia. En las teorías elaboradas por **Isaac Newton**, especialmente la de la gravitación universal, y en la descripción del electromagnetismo realizada por **James Clark Maxwell**. Curiosamente, ambas estaban suficientemente probadas pero no encajaban bien entre sí.

Salvo este conflicto, otros flecos de escasa importancia quedaban fuera de tan majestuosa y racional visión de la realidad física. La existencia de los átomos como entidades reales aún era objeto de polémica. La radiación de la caja negra había planteado un problema resuelto a medias por la propuesta de la existencia de cuantos de energía que había realizado **Max Planck** en 1900. El efecto fotoeléctrico no encajaba en los modelos. El experimento de **Michelson y Morley** para medir las diferencias en la velocidad de la luz según la trayectoria y

velocidad del cuerpo emisor había mostrado la independencia de ésta respecto a dicho movimiento. Y estaba también la existencia de la misteriosa energía que irradiaban algunos elementos, descubierta por **Becquerel** y desarrollada por **Pierre y Marie Curie**.

Cualquier observador imparcial habría dicho que aquellos síntomas exigían una profunda revisión de los modelos, pero la extendida fe en los pilares de la Física impedía que alguno de los grandes científicos de la época se atreviera a abordar la em-



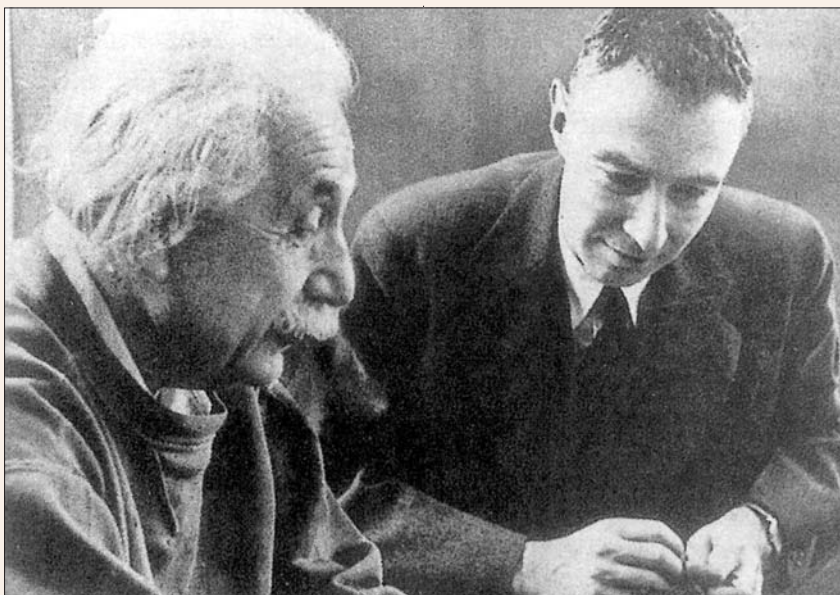
Albert Einstein, durante su época de empleado de la Oficina Suiza de Patentes, en Berna

presa. **Einstein** tenía a su favor muchos elementos, además de su capacidad: No estaba maleado por la actividad investigadora de los académicos, era capaz de plantearse los problemas con una actitud imaginativa (que él mismo definió como infantil) y disponía del suficiente tiempo libre. Sus cinco trabajos de 1905, desarrollados en los años posteriores, dieron cuenta de la mayor parte de las cuestiones planteadas.

El año de **Einstein** empezó con la publicación, finalmente, de su tesis, bajo el nombre de "*Una nueva determinación de las dimensiones moleculares*". Fue, sin duda, su trabajo menos notable. El segundo se titulaba "*Sobre el movimiento (exigido por la cinética molecular de la teoría del calor) de pequeñas partículas en suspensión en un líquido estacionario*". En él interpretaba un fenómeno conocido como el "*movimiento browniano*", por el que minúsculos granos de polen sumergidos en un líquido experimentaban movimientos aleatorios e impredecibles en forma de zig-zag. Según **Einstein**, eran las moléculas del líquido las que los impulsaban y demostraba con ello la existencia real de los átomos.

Su tercer trabajo se denominaba

* De Estratos



Einsteins, con Oppenheimer, uno de los padres de la bomba atómica.

Abajo, la famosa fórmula $E=mc^2$, escrita por el propio Einstein.

$$(E = mc^2)$$

“Sobre un punto de vista heurístico en torno a la producción y transformación de la luz”. En él planteaba que la luz está formada por corpúsculos individuales, equivalentes a los *quanta* de **Planck**, más tarde denominados fotones. La consideración de la naturaleza de la luz había sufrido una polémica de siglos. **Newton** creía que estaba formada por corpúsculos, pero otros opinaban que era una onda. Los experimentos realizados a lo largo del siglo XIX había demostrado que estos últimos tenían razón, ya que se comportaban como una onda, y **Maxwell** elaboró sus famosas ecuaciones sobre las radiaciones electromagnéticas, basándose en este presupuesto. Pero a nadie se le ocurrió, antes de **Einstein**, que ambas opciones pudieran ser ciertas, que la luz fuera, a un tiempo, onda y corpúsculo. La luz, como onda, exigía la existencia de un medio donde se propagase, el éter, cuya realidad nadie había podido probar y que planteaba a su vez nuevos problemas, como el derivado del experimento fallido de **Michelson y Morley**. Con su concepción dual, **Einstein** podía prescindir del éter, ya que los corpúsculos serían el propio medio de propagación de la luz, resolvía el problema de la radiación de la caja negra y el del efecto fotoeléctrico. Los corpúsculos de luz chocaban con los electrones del material y los desprendían.

En realidad, una onda podría haber producido el mismo fenómeno,

pero se presentaba un problema añadido. Si la luz era una onda que al chocar con el material levantaba los electrones, al incrementar la intensidad de la luz dichos electrones deberían adquirir mayor velocidad, pero en realidad lo que ocurría era que se desprendían más, pero a la misma velocidad. En cambio, si la luz era de mayor frecuencia, se conseguía esa mayor velocidad. Dicho de otra forma: iluminando con una luz roja se desprendían electrones a una energía determinada cuyo número dependía de la intensidad de la fuente. Para conseguir electrones con mayor energía se debía proyectar luz azul, que tiene mayor frecuencia. Este fenómeno quedaba perfectamente explicado con los *corpúsculos de Einstein*.

La explicación del efecto fotovoltaico le valió a **Albert Einstein** el *Premio Nobel* de 1921, el único que consiguió, aunque los expertos consideran que podría haber cosechado media docena más. Los cuantos de luz propuestos por **Planck** recibieron con este trabajo un decisivo apoyo, a partir del cual se desarrolló toda la Física cuántica, desarrollada por una multitud de grandes científicos durante las siguientes décadas y que no sólo nos han proporcionado las claves de la estructura de la materia y de las fuerzas fundamentales, y con ello el funcionamiento esencial de la Química y la Biología, sino que han permitido el advenimiento de toda la

electrónica y sus manifestaciones, entre las que destaca el transistor y el hoy imprescindible *chip*.

El cuarto de los artículos de 1905 se denominaba *“Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”*, aunque la propuesta que presentaba es conocida hoy como la teoría especial de la Relatividad. Era fruto de un ensayo que escribió a los 16 años y su principal hipótesis era que, para todos los sistemas de referencia, la velocidad de la luz es constante (tal como había evidenciado el experimento de **Michelson y Morley**), lo que, suponiendo que las leyes de la Naturaleza son las mismas para todos ellos, implica que el tiempo y el movimiento, y por tanto el espacio, entre dichos sistemas es relativo.

La recuperación de las ideas esbozadas 10 años antes, en su adolescencia, le mantuvo durante la primavera de aquel año en estado de gran excitación, encajando las piezas e imaginando experimentos que le permitieran comprender los intrínsecos de su teoría y dándole la cohesión necesaria. Escribió durante mes y medio y plasmó su teoría en 36 páginas de apretadas líneas. Tras el esfuerzo, envió el artículo para su publicación, pero siguió dándole vueltas al tema, intuyendo que entre sus consecuencias había todavía más jugo que exprimir.

Así nació el quinto escrito de su año de gloria, tres folios que remitió urgentemente a la revista, bajo el título *“¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido energético?”*, para que se publicara conjuntamente con el anterior. Y tal cual apareció, como una nota al pie del artículo añadida ha resuelto tan trascendental. En ella esbozaba la idea de que la materia era

una forma de energía, allí estaba el embrión de la ecuación más famosa de la historia, ese $E=mc^2$, con la que, entre otras cosas, quedaba resuelto el misterio de la radiactividad, esa misteriosa energía que emergía de algunos elementos de manera constante y cuantiosa sin que ningún fenómeno químico o físico conocido pu-

diera explicar su origen. La ecuación en sí no la escribiría hasta algún tiempo después, pero la idea estaba ya allí en su plenitud. Una idea que daría lugar, con el tiempo, al horror de la bomba atómica y a su corolario práctico, la energía nuclear, donde se convierten unos pocos gramos de materia en energía, y que, vuelto al

revés, es el principio que se aplica en los aceleradores de partículas, donde se hacen colisionar para reunir en un punto tanta energía como para generar nueva materia.

Sus aportaciones no se agotan en aquel año mágico, sino que se prolongan durante más de un decenio. De su febril imaginación nacieron ideas tan extraordinarias como la emisión estimulada de luz, el láser, que se convertiría en realidad medio siglo después (un descubrimiento repleto de posibilidades de aplicación muy relevantes, como el sistema de lectura de los discos compactos), ese extraño estado de la materia ultrafría conocido como condensado **Einstein-Bose**, conseguido experimentalmente ochenta años después de su postulado, y las ideas que fueron conformando, durante varios años, su Teoría general de la Relatividad, publicada en 1916 y considerada su más talentosa y trascendental creación.

En ella explicaba la gravitación universal como producto, más que de una fuerza como la propuesta por **Newton**, de la deformación del espacio-tiempo producida por la masa, de manera que esta deformación altera las trayectorias de los cuerpos. Con su teoría, **Einstein** conseguía explicar fenómenos detectados que no podían explicarse con la gravitación newtoniana, como la precisión del perihelio de Mercurio, y se derivaban predicciones que aún hoy son objeto de comprobación experimental. La más conocida es la de que la deformación del espacio-tiempo no sólo alteraba la trayectoria de cuerpos con masa sino también la de otros fenómenos incorpóreos, como la luz. Como es bien sabido, apenas tres años después de su formulación, esta comprobación se pudo realizar midiendo la desviación de la luz procedente de una estrella al pasar por las cercanías del Sol durante un eclipse.

Este experimento, llevado a cabo por el equipo del astrónomo británico **Arthur Eddington**, proporcionó una fama mundial e inmediata a **Einstein**, que apareció en la portada de los más prestigiosos medios de comunicación. Una fama que ya no le abando-

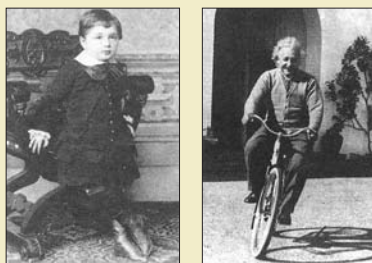
Albert Einstein nació en la ciudad alemana de Ulm el 14 de mayo de 1879, en el seno de una familia judía que se trasladó posteriormente a Munich, donde su padre instaló un negocio de maquinaria eléctrica. No empezó a hablar hasta los tres años, pero pronto mostró una gran curiosidad por la Naturaleza y una rara habilidad para profundizar en complicados conceptos matemáticos. Como estudiante no fue especialmente brillante, e incluso fue considerado en la escuela primaria y secundaria como algo lento y retrasado.

Cuando el negocio familiar entró en declive, la familia se trasladó a Italia, para trasladarse después a Suiza, donde el joven **Albert** consiguió entrar en la **Politécnica de Zurich** para estudiar Física. Tampoco en sus estudios superiores destacó especialmente y ello le impidió, a su conclusión, conseguir un puesto académico. Consiguió la nacionalidad suiza en 1900 pero tuvo grandes dificultades para encontrar trabajo. Gracias a su amigo y compañero de carrera **Michelle Besso**, obtuvo un puesto en la **Oficina Suiza de Patentes**, en Berna. Allí ocupó un puesto de oficial de patentes de segunda que le permitió crear y mantener una familia tras casarse con **Mileva Malic** (otra compañera de carrera) con la que tuvo una hija antes de casarse, que fue enviada con la familia materna, en Serbia, y de la que nos se tienen más noticias, y dos hijos, **Hans Albert** que llegó a ser profesor en Berkeley, y **Eduardo**, una persona problemática con quien mantuvo escasas relaciones.

Tras las aportaciones realizadas en 1905, **Einstein** empezó a labrarse un nombre en el mundo de la Física, lo que le permitió abandonar su puesto en la oficina de patentes e ingresar en la carrera académica. Ocupó un puesto inicialmente en la **Universidad de Zurich**, en 1909, pero empezaron a disputárselo y apenas dos años después se trasladó a la de Praga. En 1913 fue nombrado director del **Instituto Kaiser Wilhelm de Física**, en Berlín. Divorciado de su primera mujer, en 1915 se casó con su prima **Elsa**, también divorciada y con una niña, con quienes vivió hasta la muerte de su esposa, en 1936.

Gracias a la fama alcanzada en 1919, Einstein se convirtió en una figura pública en todo el mundo, pero sólo se decidió a abandonar Alemania tras la llegada de Hitler al poder, aceptando un puesto en el recién creado **Instituto de Estudios Avanzados** de Princeton, en EE.UU., donde llevó a cabo toda su carrera investigadora posterior. En 1940 se nacionalizó estadounidense.

Además de su ingente labor científica, mantuvo posturas que alcanzaron gran relevancia dada su notoriedad. Es famosa la carta que escribió al presidente Roosevelt, advirtiéndole del peligro de que Alemania desarrollara la bomba atómica y urgiendo la necesidad de que lo hiciera antes EE.UU. Pese a ello, fue un proselitista del pacifismo y del sionismo. Una vez creado el Estado de Israel, se le ofreció ocupar la jefatura del Estado, oferta que rechazó. Falleció en Princeton el 18 de abril de 1955.



Izda, una de las pocas imágenes de niño que se conservan de Albert Einstein. Dcha, el científico, en la Universidad de Santa Bárbara, durante su etapa americana.

naría durante el resto de su vida, y que le convirtió en el científico más célebre de la historia. Prueba de ello es que la revista *Time*, que dedica la portada de su último número de cada año al personaje más relevante del mismo, otorgó a **Einstein** el título de personaje del siglo en su último ejemplar de 1999.

La Relatividad ha sido siempre considerada como el paradigma de lo abstruso, de lo incomprensible para el común de los mortales. **Einstein** realizó esfuerzos para divulgar de manera asequible sus contenidos, pero su esencia sigue estando alejada de la capacidad de comprensión de los legos. Este hecho fue afrontado por **Einstein** con humor, como demuestra esta escueta explicación que dio en cierta ocasión: *"Pon tu mano sobre un horno caliente durante un minuto y te parecerá una hora. Siéntate con una chica preciosa durante una hora y te parecerá un minuto. Eso es la relatividad"*.

La lista de científicos que han conseguido el más alto galardón científico, el *Premio Nobel*, gracias a sus contribuciones en el desarrollo de investigaciones nacidas de las teorías de **Einstein** o demostrando experimentalmente alguno de sus asertos, es muy amplia, aunque él mismo no consiguió semejante reconocimiento más que una vez. Todavía hoy se diseñan nuevos experimentos destinados a comprobar algunas de esas consecuencias y aparecen nuevas aplicaciones basadas en sus ideas, y es que sigue siendo una fuente inagotable de imaginación científica. Si la grandeza de un científico se mide por el criterio de su prolongada influencia, la figura de **Albert Einstein** se erige por encima de cualquier otro en la historia, y sólo **Isaac Newton** queda a su altura. Una altura alcanzada con modestia pero con ambición, como muestra esta frase suya: *"No estoy interesado en fenómenos específcos, sino que quisiera conocer el pensamiento de Dios. Lo demás es detalle"*.

Un siglo después de su año revolucionario, ese reconocimiento ha hecho que **Naciones Unidas** haya decidido declarar 2005 como el *Año de la*

Física, y que Alemania, su patria de origen, haya dedicado el año al propio **Einstein**. Multitud de actos están programados con ambos motivos para rendir apropiado homenaje al mayor revolucionario de la historia de la Ciencia.

EL ÚLTIMO CLÁSICO

La dificultad para entender en profundidad los dos grandes pilares de la Física del siglo XX, la Relatividad y la Física cuántica, se suele atribuir a su carácter profundamente contrario a la intuición y el sentido común. Ciertamente, la historia de la Ciencia es la de la lucha contra las evidencias que la experiencia cotidiana nos proporciona. **Copérnico** nos obligó a mirar los movimientos aparentes de los astros en el firmamento terrestre como consecuencia del propio movimiento de nuestro planeta, atajando la percepción que tenemos de que son los astros los que discurren por el cielo. **Galileo** nos enseñó que una pelota de cartón cae a la misma velocidad que otra de hierro macizo pese a los prejuicios que podamos albergar. **Newton** contradujo nuestra intuición de que un cuerpo en movimiento acaba deteniéndose por sí solo. Son sólo tres ejemplos de ese eterno combate contra el sentido común, pero también es cierto que, una vez aportadas las razones, somos capaces de imaginar los movimientos de los planetas en torno al Sol, de entender que si quitamos la fuerza de fricción del aire, la gravedad, que determina la caída de los cuerpos que observamos, está determinada por la masa ingente de nuestro planeta que hace que la diferencia entre el cartón y el hierro sea insignificante, o que si eliminamos el rozamiento de una bola rodando por una superficie y la gravedad que la sujeta (o cualquier otra fuerza que se interponga) podemos aceptar que seguiría rodando eternamente.

Ciertamente, los prejuicios que **Einstein** (y muchos otros físicos del siglo XX) eliminó son mucho más elementales y arraigados. Que el espacio y el tiempo dejaran de ser magnitudes absolutas o que las radiaciones y los contribuyentes íntimos de la

materia tengan a un tiempo esa doble personalidad de la onda y el corpúsculo, que la materia y la energía sean intercambiables o que el Universo pueda tener una curvatura tal que resulte ilimitado pero finito resulta extraordinariamente contraintuitivo, y sólo viendo sus consecuencias sospecharemos que esas ideas deben ser ciertas, aunque difícilmente podamos captarlas en toda su profundidad.

Y, pese a este carácter de la obra de **Einstein**, muchos ven en él, más que al primer revolucionario, al último representante de la Física clásica. Y es que, en su laboriosa y brillante lucha contra las concepciones clásicas de la realidad mantuvo tenazmente hasta el final de sus días una idea considerada por sus sucesores como perteneciente al pasado: la de que en todos los fenómenos subyace una relación causa-efecto. Es bien sabido que, pese a haber iniciado la andadura cuántica, nunca aceptó las consecuencias derivadas de su desarrollo, especialmente las que se desprenden del *"Principio de incertidumbre"*, elaborado por **Heisenberg**. Su famosa frase: *"Dios no juega a los dados"*, resume su aferramiento a la causalidad.

Según aceptan hoy la mayor parte de los físicos, los fenómenos a escala cuántica son aleatorios, aunque a gran escala las diferencias de probabilidad acaban acumulándose y ofreciendo un aspecto de la realidad donde la causalidad parece dominar la fenomenología. **Einstein** nunca aceptó este hecho y su fallida búsqueda de una teoría que unificara toda la Física, a la que dedicó muchos de sus últimos años de trabajo, era un intento de encontrar un fundamento causal a los paradójicos resultados experimentales de los físicos cuánticos. Su empeño aún es perseguido por algunos físicos, que no dejan de recordar que, tal como ocurrió con la gravedad newtoniana y la electrodinámica de **Maxwell**, encajadas y superadas por **Einstein**, las contradicciones entre la Relatividad y la Física cuántica pueden encerrar una explicación más profunda y compelta, hoy por hoy completamente desconocida. ■