

¿QUÉ TIENE QUE VER EINSTEIN CON EL AÑO INTERNACIONAL DE LA FÍSICA?

Eliezer Braun

Eliezer Braun es profesor-investigador del Departamento de Física de la UAM Iztapalapa. Físico por la UNAM, doctor en matemáticas y ciencias naturales por la Universidad de Leiden, Países Bajos. Trabaja en investigación en el campo de la mecánica estadística. Ha escrito varios libros de divulgación de la ciencia y textos de física y química para distintos niveles educativos. En 1978 obtuvo el Premio de Ciencias de la Academia de la Investigación Científica (hoy Academia Mexicana de Ciencias); Premio a la Docencia, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, UAM I, en 1997; en 2000 fue nombrado Profesor Distinguido de la UAM.

El presente ha sido designado por la UNESCO como el Año Internacional de la Física 2005. Se cumplen ahora dos aniversarios: el centenario de la publicación de tres artículos extraordinarios de Albert Einstein y el cincuentenario de su muerte.

Los tres artículos, publicados en el que se ha llamado *el año milagroso*, son —sin exagerar— la base de la física contemporánea. Estos trabajos se refieren a:

- a) el movimiento browniano
- b) el efecto fotoeléctrico
- c) la teoría de la relatividad

Veamos brevemente en qué consisten estos trabajos y los motivos de que sean tan importantes.

a) *El movimiento browniano (mb)*. Lo podemos observar al soltar un granito, por ejemplo, de polen, en un vaso con agua. Se da uno cuenta de que el grano realiza un movimiento zigzagueante, errático y no cae al fondo del vaso. Si en lugar de agua se llena el vaso con aceite, se observa el

mismo tipo de comportamiento. En un cine a oscuras, cuando el proyector está enviando la luz a la pantalla, se puede observar el movimiento zigzagueante de partículas de polvo. Todos estos constituyen *mb*.

Este fenómeno fue descrito en 1829 por el botánico inglés Robert Brown; de allí su nombre. Durante el siglo XIX un



buen número de personas trataron de entender las causas de este comportamiento. Hubo gente que hasta llegó a pensar que los granos tenían vida; sin embargo, no se llegó a ninguna explicación físicamente aceptable.

Por otro lado, desde principios del mismo siglo el químico inglés John Dalton propuso que la materia estaba compuesta de átomos (y moléculas). Es así como se inició el trabajo de formulación científica de la química. Sin embargo, hacia fines de siglo había un gran número de físicos de renombre que no aceptaban la idea de los átomos ya que, afirmaban, no había ninguna confirmación experimental de su existencia. Además, argumentaban que no era necesaria esta hipótesis ya que el comportamiento macroscópico de las sustan-

cias se podía explicar por medio de la termodinámica, sin necesidad de suponer la existencia de los átomos.

Así estaban las cosas en 1905 cuando Einstein inició el tratamiento del *mb*. Para ello supuso como hipótesis la existencia de átomos. Su idea fue que los átomos del agua (o del aceite o del aire) se están moviendo incesantemente y golpean continuamente, de todos lados, a la partícula inmersa en su seno. De esta forma el grano experimenta un número muy grande (un uno seguido de ocho ceros) de colisiones por segundo. La consecuencia sería el movimiento errático observado. Pero a diferencia de las personas que trabajaron antes que él, Einstein calculó que, en promedio, el grano tendría que separarse de su posición inicial de cierta manera bien precisa. Si no existiesen átomos, entonces la separación tendría otro comportamiento. Einstein propuso que se realizara un experimento para ver qué sucedía con la separación y así poder decidir si existían o no átomos. Al año siguiente, en 1906, Jean Perrin en Francia hizo el experimento sugerido por Einstein y observó que su predicción se cumplía. Es decir, la hipótesis de la existencia de los átomos quedó verificada de manera experimental. A partir de ese momento ya nadie volvió a dudar de que en efecto existen átomos.

Einstein usó el fenómeno de *mb* no sólo para explicarlo sino para descubrir algo más fundamental, a saber, la existencia de átomos. Esta fue una característica única de Einstein; utilizó un fenómeno (el *mb*) como “pretexto” para descubrir algo más fundamental (la existencia de átomos). Después veremos otro ejemplo.

b) *El efecto fotoeléctrico (ef)*. Alrededor de 1870 se descubrió que si se ilumina un metal éste desprende electrones. De las mediciones realizadas se concluyó que al aumentar la intensidad del rayo de luz no aumentaba la energía de los electrones emitidos. Esto iba contra lo que en ese entonces se sabía acerca de la radiación electromagnética (de la cual la luz forma parte).

Por otro lado, en 1900 el físico alemán Max Planck presentó una serie de trabajos para explicar fenómenos de radiación electromagnética, que no se habían podido explicar

usando la teoría física que se conocía entonces, teoría basada en las leyes de Newton. Planck se vio en la necesidad de tener que suponer que la energía de las sustancias debería estar formada de “paquetes” o “cuantos” de energía. Esto iba en contra de todo lo que se conocía entonces en la física. Planck creyó que su hipótesis era un truco matemático y no creyó en su realidad física; de hecho nadie prestó atención a este trabajo hasta 1905.

En el trabajo de Einstein de ese año, al tratar de explicar el *ef* descubrió, usando los resultados de Planck, que podría explicarlo si suponía que la luz se comportaba como si estuviera formada por cuantos de energía, o sea partículas, dando realidad física a la cuantización.

La composición corpuscular de la luz fue propuesta originalmente por Isaac Newton allá por 1690, pero luego fue desechada porque no podía explicar varios fenómenos luminosos. La única manera de explicarlos era suponiendo que la luz era una onda, por lo que se desechó este modelo de Newton.

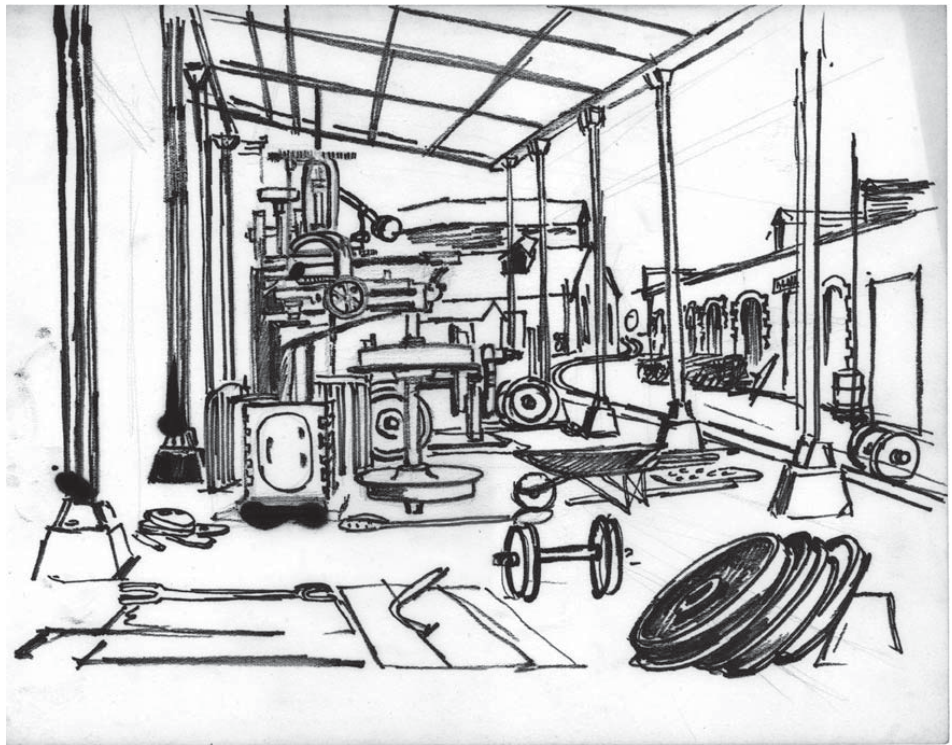
Ahora venía Einstein a sugerir de nuevo que la luz estaba formada de partículas. En diversos experimentos realizados se demostró que las conclusiones de Einstein eran correctas. Los cuantos de luz sí existían. Estos cuantos de luz recibieron más tarde el nombre de fotones.

En un congreso llevado a cabo en Salzburgo, en 1909, Einstein presentó un trabajo en el que demostró que la luz es un ente muy complicado: en ciertas circunstancias se comporta como si fuera onda y en otras como si fuera partícula. Esto causó un gran revuelo entre los físicos, que siempre supusieron que la luz o era onda o era partícula. Einstein demostró que podían ser las dos cosas.

De esta manera, Einstein de hecho inició con esta investigación sobre el *ef* lo que ahora se llama la física cuántica. Durante unos siete años fue la única persona que trabajó en este tema. Esta parte de la física es la que rige el comportamiento de los fenómenos microscópicos.

El mismo Einstein, en 1917, descubrió que como consecuencia de la cuantización de la luz debería existir una forma de emisión de luz que llamó *estimulada*. Esto es la base del láser (siglas en inglés de *light amplification by stimulated emission of radiation*, o sea, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación).

Una aplicación conocida del *ef* lo constituyen las celdas fotoeléctricas que se usan, por ejemplo, en las puertas de los



elevadores; también se usan para convertir la luz solar en corriente eléctrica.

Al igual que hizo con el *mb*, Einstein utilizó el *ef* no tanto para explicar los detalles particulares de este fenómeno, sino para descubrir algo mucho más fundamental, a saber el comportamiento de la luz y la cuantización de la energía. Por este trabajo Einstein recibió en 1921 el Premio Nobel de Física.

c) *Teoría de la relatividad especial (tre)*. En el último cuarto del siglo XIX dos teorías físicas explicaban los fenómenos conocidos: la mecánica de Newton, publicada en 1687, y la teoría electromagnética de James Clerk Maxwell, publicada en 1873. Entre otras cosas, Maxwell predijo teóricamente la existencia de ondas electromagnéticas. Años después Heinrich Hertz demostró en un laboratorio que estas ondas en efecto sí existen; forman la base de las comunicaciones inalámbricas que usamos en la actualidad.

Sin embargo, a fines del siglo XIX varios físicos se dieron cuenta de que había una incongruencia estructural entre estas dos teorías. Si se aceptaba una de ellas, la otra no podía ser correcta. Nadie pudo salir de este atolladero, hasta Einstein en 1905. En su trabajo demostró que la teoría de Newton no podía ser la correcta. Lo que ocurría es que Newton supuso que había un tiempo absoluto, que no dependía del observador que hiciera las mediciones físicas. Einstein descubrió que esto no podía ser cierto. Basándose entre otras cosas en este hecho desarrolló una nueva teoría, la *tre*. Demostró que la teoría de Maxwell era la correcta y que la de Newton se tenía que corregir. Él mismo lo hizo, construyendo la llamada mecánica relativista. Así desapareció la incongruencia mencionada.

La *tre* considera fenómenos en los que las velocidades involucradas siempre tienen el mismo valor, es decir, son cantidades constantes.

Hizo ver que si la velocidad de un cuerpo es mucho menor que la velocidad de la luz, entonces las conclusiones que se obtienen de la *tre* coinciden con las que se obtienen de la mecánica de Newton. Si la velocidad de un cuerpo es cercana a la velocidad de la luz, entonces aparecen fenómenos que la teoría de Newton no puede explicar. Por tanto, se encontró una limitación a la mecánica de Newton: es un caso particular de la mecánica relativista, válida para velocidades pequeñas, comparadas con la de la luz.

En el mismo 1905, en un trabajo posterior, usando su *tre*, Einstein descubrió una consecuencia muy importante: la masa y la energía de un cuerpo forman un mismo ente, que permite que una se transforme en la otra. Esto quedó sintetizado en la famosa ecuación $E = mc^2$, donde E es la energía del cuerpo, m su masa y c la velocidad de la luz. O dicho en otras palabras: la masa se puede transformar en energía y viceversa.

Esta última predicción, así como muchas otras que Einstein obtuvo de su teoría, han sido brillantemente comprobadas en muchos experimentos.

No podemos dejar de mencionar que en 1915 Einstein publicó otro gran trabajo, que se llama la *teoría de la relatividad*

general (trg). Ahora consideró el caso en que las velocidades de un cuerpo cambian, es decir en presencia de aceleraciones.

Para desarrollar este trabajo no había, como en los casos anteriores, ninguna necesidad experimental o alguna contradicción que obligara a construir algo nuevo. Las teorías conocidas siempre se habían desarrollado partiendo de diversos antecedentes. No fue el caso de la *trg*. Nadie lo había hecho y hasta hoy en día nadie lo ha vuelto a hacer. Esta forma de trabajar fue única en la historia de la física.

Obtuvo varias consecuencias de su nueva teoría. Una de las más famosas fue que si un haz de luz pasa cerca de un cuerpo entonces se tiene que desviar. El ángulo de desviación depende de la masa del cuerpo; a mayor masa, mayor es la desviación. Calculó cuánto se debería desviar un haz que pasara cerca del Sol. Encontró un valor muy pequeño, pero que en su época ya se podía medir. Así que propuso una medición de la supuesta desviación de la luz que llegara de una estrella que estuviera detrás del Sol. Esta observación tendría que hacerse durante un eclipse, porque en caso contrario la luz del Sol no permitiría ver la luz proveniente de la estrella.

En 1919 hubo un eclipse de Sol, y dos expediciones astronómicas midieron la posible desviación del rayo proveniente de una estrella. Descubrieron que, en efecto, el rayo de luz de la estrella se desvió el ángulo que Einstein había calculado. Esta noticia ocasionó un revuelo en la comunidad científica y salió publicada en todos los periódicos del mundo causando una gran sensación. Fue entonces cuando Einstein se volvió un personaje popular.

Muchas otras predicciones de los trabajos de Einstein han sido verificadas en el transcurso de los años.

Además de lo anterior, Einstein hizo, a lo largo de décadas, varias contribuciones adicionales que han sido de gran importancia en la física.

Sin lugar a dudas, Albert Einstein ha sido uno de los más, sino el más, notables físicos de todos los tiempos. •