

# Albert Einstein: Cien años de la teoría de la Relatividad

---

## Aspectos Filosóficos de la Teoría de la Relatividad de Einstein

Dr. Francisco Miró Quesada Catuarias

### PROEMIO.

La teoría de la relatividad de Einstein, presenta dos partes muy diferentes entre sí: la relatividad restringida y la relatividad generalizada. La primera es una creación por razones puramente científicas. La segunda se debe a razones filosóficas. Mas ninguna de las dos se puede comprender si no se parte de dos nociones bases cuya explicación nos obliga a comenzar por el nacimiento de la física moderna.

### 1. Galileo.

Galileo es el creador de la física moderna porque es el primer científico que utiliza las matemáticas para describir los fenómenos físicos<sup>1</sup>. Lo que interesa para comprender lo que sigue es el experimento imaginario que describimos a continuación.

En el experimento figuran dos hombres, uno parado en una playa, al borde del mar, el otro en un barco que pasa, navegando a velocidad constante, delante del que está en la playa. Ambos tienen una bolita del mismo tamaño y del mismo peso. En el momento en que ambos hombres están frente a frente, dejan caer la bolita.

El que está en la playa, ve que su bolita ha caído en forma vertical. Pero ve que la bolita que ha dejado caer el hombre que está en el barco, ha caído en forma sesgada. Mas quien está en el barco, ve las cosas, exactamente al revés de como las ve el que está en la playa.

Resulta de este experimento, que da lo mismo describir matemáticamente la caída de la bolita sobre la playa, y la caída de la bolita sobre la cubierta del barco. En términos

de física moderna el lugar desde el cual se realiza un experimento se llama «marco de referencia». El experimento de Galileo quiere decir lo siguiente. Sean dos observadores situados cada uno en un marco de referencia, que se desplazan el uno respecto del otro, con velocidad uniforme. Uno de ellos ha descrito matemáticamente la caída de un cuerpo  $m_1$  sobre el centro del marco en que está situado, el otro ha hecho lo mismo con un cuerpo  $m_2$  de forma y peso iguales a  $m_1$ . Supongamos que la descripción de la caída de  $m_1$  ha sido hecha mediante la fórmula  $F_1(x,y,z)$ , y la descripción de la caída de  $m_2$  ha sido hecha mediante la fórmula  $F_2(x_1,y_1,z_1)$ . Ambas fórmulas son estrictamente equivalentes, describen exactamente lo mismo. Utilizando el símbolo lógico de la equivalencia:

(1)  $F_1(x,y,z) \equiv F_2(x_1,y_1,z_1)$ . Por lógica proposicional:

(2)  $F_2(x,y,z) \equiv F_1(x,y,z)$ .

O sea, ambas fórmulas son simétricas, cualquiera puede utilizarse en lugar de la otra. Y esto significa que describen la realidad física, en este ejemplo, la trayectoria de cada uno de los cuerpos  $m_1$  y  $m_2$ . Esta conclusión es de la mayor importancia, pues nos dice que la simetría es el criterio de la realidad física.

Los marcos de referencia concebidos por Galileo, se denominan «marcos galileanos de referencia». Su característica constitutiva es que todos ellos deben desplazarse, los unos respecto de los otros, con velocidad uniforme.

### 2. Newton.

Newton, desde luego, adopta la simetría de los marcos galileanos. Pero la ley de la gravedad rompe la simetría. En efecto cuando interviene la gravedad, y se produce la atracción de un cuerpo sobre otro, las leyes simétricas

---

<sup>1</sup> En la antigüedad, Arquímedes utilizó el lenguaje matemático para describir los fenómenos físicos. Y lo mismo hicieron, en forma increíblemente avanzada, algunos sabios de la Biblioteca de Alejandría, que era parte del famoso Museo de Alejandría

establecidas en los marcos galileanos ya no se aplican a los fenómenos naturales. La ley de la gravedad:

$$(2) \quad G = m_k \times m_r / r^2.$$

Permite explicar el movimiento de los cuerpos sobre la tierra y en el espacio, pero en un campo gravitacional no funcionan las leyes establecidas matemáticamente en los marcos de referencia de Galileo.

### 3. Einstein.

#### 3.1. Teoría de la relatividad restringida.

Cuando, en 1887 el experimento de Michelson y Morley, establece, sin la menor duda, que la velocidad  $c$  de la luz es constante sea cual sea la dirección en que viaje respecto de la Tierra y, en general, de cualquier cuerpo en reposo o en movimiento, se genera un gran desconcierto entre los físicos porque mostraba que la ley de la composición de las velocidades de la mecánica clásica no se cumplía. Varios tratan de explicar este hecho, pero nadie lo hace satisfactoriamente, hasta que Einstein en 1901 crea una teoría basada en el postulado de la constancia de la velocidad de la luz, introduciendo, así la óptica, al lado de la mecánica. De este hecho se deduce que el espacio y el tiempo no son independientes sino que están unidos de manera matemáticamente determinable mediante ecuaciones sencillas. Se infiere, asimismo, que con el aumento de la velocidad, el espacio medido por el observador, respecto de su marco de referencia, se contrae y el tiempo se alarga. Esta unión induce a considerar al tiempo como una cuarta dimensión. Partiendo de este resultado, Einstein sostiene que la descripción de las leyes de la naturaleza en los sistemas de referencia galileanos es invariable respecto de cada uno de ellos. En consecuencia, el principio de simetría como criterio de realidad se mantiene. Esta simetría se da en el campo electromagnético y en el óptico. O sea, abarca una amplia porción de la naturaleza.

Pero hay algo más que vale la pena señalar: la equivalencia entre la masa y la energía. Esta equivalencia se expresa mediante la fórmula:

(3)  $E = mc^2$ , que es, probablemente, junto con la fórmula del cuadrado de la hipotenusa de Pitágoras, la más famosa de la historia de la ciencia.

Observemos que la masa está multiplicada por la velocidad de la luz elevada al cuadrado, de manera que la energía concentrada en una masa es inmensa. Esta fórmula, que Einstein estableció mediante una demostración matemáticamente sencilla, fue la base de la construcción de la bomba atómica.

A partir de la teoría de la relatividad restringida cambia la visión del mundo que, hasta entonces, había imperado en la ciencia. Y, en consecuencia cambia nuestra propia visión, pues a partir de Newton, la ciencia ha logrado resultados tan extraordinarios que impone la manera de ver el mundo. Y esta manera, que es inevitablemente aceptada por los científicos que comprenden y manejan la teoría, se difunde en el mundo no científico. En la actualidad, la manera como vemos el mundo depende directamente de la ciencia.

#### 3.2. Teoría de la relatividad generalizada.

En 1915 Einstein crea la teoría general de la relatividad. Su punto de partida es prácticamente ignorado por la mayoría de los expositores. La mayoría dicen que lo que buscaba era encontrar una ley de la gravedad que pudiera formularse de manera que coincidiera con los hechos y que pudiera explicar por qué la masa pesada era igual a la masa gravitatoria y el movimiento del perihelio de mercurio no coincidía con las predicciones de la teoría. Hablan asimismo, de las grandes dificultades que tuvo en poder expresar matemáticamente su teoría, y cómo consultó con su amigo el matemático Grossmann para que lo ayudara a encontrar una formulación adecuada. Grossman le recomendó que utilizara el cálculo tensorial que acababa de ser desarrollada por el matemático italiano Levi-Civita. Como relató después, Einstein trabajó intensamente, como nunca, para poder aplicar la teoría de los tensores hasta, que, al final, logró formular su nueva teoría de la gravedad.

Por fin logró expresar matemáticamente el concepto que había madurado, durante largos años, sobre las leyes de la física:

$$3.3. \quad R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} g_{\alpha\beta} R = 0.$$

Sobre Levi-Civita vale la pena relatar lo que sucedió cuando pasó por el Perú. No he podido averiguar por qué motivo vino a Lima y fue invitado a dar una conferencia en la Facultad de Ciencias de la Universidad de San Marcos. La conferencia tuvo lugar cuando ya Mussolini estaba instalado en el poder. Y al entrar a la universidad fue silbado e insultado por una compacta masa de estudiantes izquierdistas.

Pero yo creo que, antes de cualquier consideración matemática, Einstein decidió la teoría de la Relatividad Generalizada porque las leyes de la naturaleza, o sea, de la física, no conservaban su validez cuando intervenía la gravedad. Para que la conservaran debía de describir el comportamiento de los cuerpos en el espacio plano. Pero esto no correspondía a una verdadera ciencia. Para que una ciencia (pensemos en la física) merezca el nombre

de tal, sus leyes deben tener validez en todos los casos posibles. Por eso Einstein crea una teoría en cuyas leyes sean válidas respecto de cualquier observador en cualquier sistema de referencia, galileano o no galileano. Y, con cierto humor, habla del «molusco de referencia». Esto significa que los ejes de coordenadas respecto del centro en que está situado el observador pueden tener cualquier forma, pueden ser hasta como tentáculos de pulpo.

Esta generalización se debe a un motivo estrictamente filosófico: a una concepción determinada de lo que debe ser la ciencia de la naturaleza, a saber, la física. Una ciencia no puede merecer el nombre de tal, si sus leyes no describen todas las regularidades posibles. Hecho esto, se decide a hacer la teoría matemática correspondiente pues las leyes que describen las regularidades del comportamiento de los cuerpos, deben ser expresadas

de manera exacta, y el único modo de hacerlo es mediante fórmulas matemáticas. Porque las matemáticas no son sino eso. Consisten en expresar las cosas de manera precisa.

Desde luego, la fórmula de la Relatividad generalizada es simétrica, de manera que Einstein sigue aplicando el criterio fundamental de Galileo: la simetría de una ley física es criterio de su objetividad, es decir, de que está revelando al observador la realidad física.

Al revés de lo que sucedido con la gran mayoría de los físicos, Einstein no parte de la parte de la observación para, luego matematizarla. Parte de una idea filosófica sobre las características constitutivas de la ciencia, para pasar luego, a expresarla física y matemáticamente. Por eso considero que Einstein debe ser considerado como uno de los más grandes filósofos de todos los tiempos.