

Conceptos científicos usados y descartados por Einstein para enunciar la teoría de la relatividad especial

Historia de la Ciencia II

Joaquín Herrero Pintado

Historia de la Ciencia II. Grado de Filosofía. UNED

“Sabido es que al aplicar la electrodinámica de Maxwell –tal y como se suele entender normalmente hoy día- a cuerpos en movimiento, aquella conduce a ciertas asimetrías que no parecen ser inherentes a los fenómenos. Piénsese, por ejemplo, en la acción electrodinámica recíproca de un imán y un conductor. [...]

“Ejemplos de esta especie, junto con los intentos infructuosos de descubrir algún movimiento de la Tierra con relación al “medio lumínico”, obligan a sospechar que ni los fenómenos de la electrodinámica ni los de la mecánica poseen propiedades que se correspondan con la idea de un reposo absoluto. Indican más bien, como ya ha sido demostrado para magnitudes de primer orden, que las mismas leyes de la electrodinámica y de la óptica son válidas en todos los sistemas de referencia para los que son ciertas las ecuaciones de la mecánica. Elevemos esta conjetura (cuyo contenido llamaremos de ahora en adelante “Principio de Relatividad”) a la categoría de postulado, e introduzcamos además otro, cuya incompatibilidad con el primero es solo aparente, a saber: que la luz se propaga siempre en el vacío con una velocidad c independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor. Estos dos postulados bastan para obtener una teoría simple y coherente de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento basada en la teoría de Maxwell para los cuerpos estacionarios.”

Albert Einstein, “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, 1905

El texto citado arriba corresponde a uno de los tres artículos que Albert Einstein publicó en 1905, cada uno de los cuales fue de capital importancia para la historia de la física. En este, titulado “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, Einstein esbozó las líneas generales de la Teoría especial de la Relatividad.

Para 1905 la electrodinámica de los cuerpos en movimiento era un tema sobre el que se habían hecho grandes avances matemáticos y se creía completamente explicado gracias a la teoría del campo electromagnético de Maxwell, su identificación de la luz como un fenómeno electromagnético y su convencimiento de que el éter, que permeaba toda la materia y además era el escenario de las interacciones electromagnéticas, existía y era de naturaleza mecánica. Esto implicaba que si la materia se mueve en el y respecto a él, esto tendría consecuencias en el campo electromagnético.

El descubrimiento del electrón en 1897 no hizo sino aumentar la importancia teórica del concepto de campo electromagnético y por tanto la importancia las fórmulas de Maxwell que describían la

electrodinámica de los cuerpos.

Desde el punto de vista de esta visión electromagnética del mundo, la asimetría a la que alude Einstein era perfectamente entendible en términos matemáticos, pero además era obvio que se trataba de dos fenómenos distintos, ya que en la acción electrodinámica recíproca de un imán y un conductor observamos que en un caso hay movimiento eléctrico (cuando el imán se halla en reposo y el conductor en movimiento) y en el otro no, y en 1905 la aplicación de las teorías electrodinámicas a cuerpos en movimiento era diferente de su aplicación a cuerpos en reposo, pues el movimiento de un cuerpo dentro del campo electromagnético causa una perturbación en su interior que hay que tomar en consideración a la hora de explicar un fenómeno.

Esto explica que hubiera dos maneras distintas de explicar la fuerza que ha puesto en movimiento las cargas eléctricas en el interior del cable metálico en el experimento al que alude Einstein al hablar de la asimetría:

1. al mover el imán variamos el campo magnético lo cual crea automáticamente un campo eléctrico en el metal conductor, situación llamada de “inducción electromagnética” tal como descubrió Faraday
2. al mover nosotros el conductor eléctrico hacia el imán estamos poniendo cargas eléctricas en movimiento, y es esa velocidad la que, cuando se encuentra con el campo magnético de la barra imantada explica la aparición de una corriente eléctrica

Para cualquier físico de la época, en uno de los casos el movimiento de las cargas eléctricas explica la aparición de una corriente eléctrica y en el otro caso la explicación es debida, no al movimiento de las cargas, sino a la inducción que produce el imán en el conductor. Nadie veía ningún problema en explicar como dos fenómenos diferentes algo que, sin embargo, intuitivamente parece ser el mismo fenómeno visto desde dos puntos de vista diferentes.

El hecho de que se hiciera esta distinción entre ambos fenómenos explica también que el foco de la investigación de la física en esos momentos estuviera centrado en averiguar cuánto movimiento hay respecto al éter en la tierra. El famoso experimento de Michelson y Morley de 1881 y 1887 tratando infructuosamente de detectar el movimiento terrestre relativo al éter mediante un interferómetro que evidenciaría que la luz viaja más lentamente en la dirección del movimiento de la tierra es un ejemplo de cómo la física se concentró en este asunto.

El hecho de que la mecánica newtoniana con su principio de acción y reacción no fuera aplicable a las

acciones entre el éter y la materia ya que el éter actúa sobre la materia pero ésta no puede hacerlo sobre un éter que, por definición, es inmóvil, hizo replantearse a la comunidad científica el papel de la mecánica como base para la elaboración de modelos explicativos del mundo, proponiéndose específicamente por Wilhelm Wien en 1900 un nuevo paradigma que queda explicado en el título del artículo en el que lo enunciaba: “Sobre la posibilidad de una fundación electromagnética de la mecánica”.

Los posteriores avances en la segunda mitad del siglo XIX del holandés Hendrick Antoon Lorentz y del matemático francés Henri Poincaré en el estudio del electromagnetismo introdujeron novedosos conceptos que aparentemente dificultan la comprensión pero que serán decisivos para resolver los enigmas del éter y las asimetrías de las explicaciones del electromagnetismo a las que alude Einstein en el texto.

Por ejemplo, las investigaciones de Lorentz pretendieron llevar más allá a las exitosas ecuaciones de Maxwell para explicar una teoría electromagnética de la naturaleza que se puede resumir en tres postulados básicos:

1. la materia está compuesta de partículas eléctricamente cargadas
2. la materia está inmersa en un éter electromagnético
3. el éter es estacionario

Con el objetivo de investigar la contradictoria naturaleza del éter que se desprende de su teoría electromagnética, Lorentz redujo los fenómenos a estudiar a uno solo: el movimiento de un cuerpo electrizado a través del éter, tratando de demostrar que los cuerpos en movimiento se comportaban igual que los cuerpos en reposo respecto a los efectos electromagnéticos en el éter. Para estudiar el caso de los cuerpos que se movieran respecto del éter ideó un método de transformación de coordenadas entre el éter (el sistema de referencia) y el sistema en el que está un determinado cuerpo.

Hasta este momento, en la física newtoniana, de orientación mecánica, las transformaciones entre sistemas de referencia se hacían mediante el viejo principio galileano de la indistinguibilidad mecánica de los sistemas de referencia en movimiento relativo uniforme, la llamada “Ley de la Inercia”. Sin embargo a una carga eléctrica en movimiento no se le puede aplicar solamente la ley de la Inercia para transformar sus coordenadas entre dos sistemas inerciales: el movimiento por un campo electromagnético (el éter) es mucho más complejo, y esa complejidad era justamente la recogida en las ecuaciones de Maxwell, así que cualquier transformación de coordenadas entre

sistemas que hiciera Lorentz debía de ser compatible con las ecuaciones de Maxwell.

Las ecuaciones que creó para esta transformación de coordenadas son conocidas como “transformación de Lorentz”, que son una ampliación de las ecuaciones galileanas aplicándoles un factor, llamado “factor gamma” que toma en cuenta las ecuaciones de Maxwell. De estas ecuaciones además se derivan las siguientes consecuencias:

1. dado lo constante de la velocidad de la luz, dos observadores en movimiento no tienen el mismo concepto de simultaneidad y de distancia
2. en un sistema móvil el tiempo se retrasa y las distancias se contraen independientemente de qué sistema se haya tomado como referencia

Por tanto, la consecuencia de las ecuaciones de Lorentz es que quedan relacionados el tiempo y el espacio.

Por otra parte, en 1899 Henri Poincaré analizó las causas de que Michelson y Morley no detectaran el movimiento relativo de la tierra respecto del éter y puso objeciones a la limitada explicación de Lorentz. Dijo que hacía falta una nueva ley fundamental de física: el “principio de relatividad”, según el cual las leyes de los fenómenos físicos fueran las mismas tanto para un observador fijo como para un observador que se desplaza con un movimiento uniforme de traslación, como Galileo había indicado en el escenario mecánico.

Esas leyes que Poincaré afirmaba que debían de ser universalmente válidas incluían las dos consecuencias de las transformaciones de Lorentz, es decir, la contracción espacial que se deducía de su “teorema de los estados correspondientes” y la idea, basada en el “tiempo local” de Lorentz, de que el movimiento relativo obligaría a correcciones adicionales para sincronizar relojes, no solo una transformación básica que tomara en cuenta la velocidad limitada de la luz.

Por tanto, para cuando Albert Einstein escribió su artículo sobre la Relatividad Especial en 1905, ya estaban sobre la mesa los elementos que usa como postulados básicos para enunciar su teoría:

1. El Principio de Relatividad de Poincaré: las leyes de la física son las mismas para todos los sistemas inerciales
2. La velocidad de la luz es la misma para todos los observadores: simplemente asume como cierto el mismo fenómeno que Lorentz explicaba

Notamos que no forman parte de sus postulados de partida ninguno de los conceptos que caracterizaban las discusiones científicas de la época, tales como el éter, su naturaleza, su interacción con la materia o las causas del fracaso en detectar el movimiento relativo de la tierra respecto de él, sino que parte de dos supuestos simples y además, aparentemente contradictorios y cita como causa de sus investigaciones un fenómeno que todo el mundo asumía como completamente explicado.

Son dos supuestos simples solo en apariencia, porque al examinarlos comenzamos a simplificar la explicación de los fenómenos de una forma nueva y sorprendente.

Por ejemplo, al analizar la aparente incompatibilidad entre el hecho de que Einstein abogue por un principio de relatividad universal y al mismo tiempo afirme la absolutez de la velocidad de la luz llegamos a la conclusión de que no son incompatibles si revisamos nuestro concepto de la simultaneidad de sucesos. Por tanto, y en contra de la afirmación de Newton en el esolio de su obra "Principios matemáticos de la filosofía natural", una consecuencia de los postulados de Einstein es la inexistencia del tiempo absoluto y el espacio absoluto. Ello no significa que debamos renunciar a la mecánica newtoniana. Podemos salvarla si la consideramos un caso especial de la Relatividad para velocidades muy inferiores a la de la luz.

Otra consecuencia inmediata del segundo postulado es que no es necesario un éter estático respecto al cual hacer transformaciones entre dos sistemas de coordenadas, sino que cualquier transformación hay que hacerla directamente entre los sistemas inerciales implicados. Lo innecesario del éter en la explicación relativista elimina la asimetría a la que hace referencia Einstein en su obra de 1905 al eliminar el sustrato que ocasionaba el problema al intentar representar todos los fenómenos con relación a él.

De esos dos postulados Einstein deduce las mismas ecuaciones que Lorentz había descubierto, pero ahora con un significado muy diferente: los conceptos de "espacio" y de "tiempo" se habían entrelazado.

Con Einstein el mundo deja de ser tan electromagnético, eliminando los problemas ficticios y asimetrías que se originaban en dicha concepción del mundo al tiempo que salva la vieja mecánica newtoniana pero introduciéndola en el marco de una nueva visión del mundo que desafía nuestras nociones intuitivas sobre el espacio y el tiempo.

Tal como comenta Arthur Eddington en su ensayo "La teoría de la Relatividad y su influencia sobre el pensamiento científico" el hombre se ha visto tradicionalmente situado a sí mismo en un

fundamento inmóvil sobre el cual se erigía la estructura de los cielos. Para explicar esos cielos los llenó de epiciclos y esferas en un sistema ptolemaico que explicaba las órbitas de los planetas pero introducía una complejidad cada vez menos asumible. Solo se pudo arrinconar este complejo sistema mediante cambiar el punto de vista desde el que se observaban los fenómenos: Copérnico nos invitó a trasladarnos al sol y a mirar de nuevo a los cielos y descubrir que en lugar de una trayectoria con rizos y nodos la órbita que se ve ahora es una de las curvas más elementales, una elipse. El avance de Copérnico según Eddington no solo fue un nuevo modelo planetario sino que inauguró una forma de mirar el mundo en el que la imagen que obtenemos de él se ve condicionada por el punto de referencia desde el que lo miremos.

Einstein también nos invitó a mirar de nuevo el mundo y descubrir una nueva armonía en él.