



Albert Einstein

GÉNESIS LÓGICA DE LA RELATIVIDAD

Fragmento de un artículo aparecido en el *Times* de Londres escrito por Albert Einstein (1919)

En el campo de la física pueden distinguirse teorías de naturaleza diferente. La mayor parte son teorías constructivas; por medio de un sistema de fórmulas relativamente simple establecido como base, intentan estructurar una imagen de fenómenos más complejos. Es de esta manera como la teoría cinética de los gases intenta reducir los fenómenos mecánicos, térmicos y de difusión a movimientos de moléculas. Cuando se dice que se ha logrado comprender un grupo de fenómenos naturales, eso significa siempre, que se ha encontrado una teoría constructiva que abarca los fenómenos en cuestión.

Pero, junto a esta importante clase de teorías, hay una segunda, que llamaría: las teorías de principios, que en lugar del método sintético, emplea el método analítico. Aquí, el punto de partida y la base no están constituidos por elementos de construcción hipotética, sino por propiedades generales encontradas empíricamente, fenómenos naturales, principios de los que se deducen matemáticamente formulados, a los que los fenómenos particulares, o sus imágenes teóricas deben satisfacer. Es de esta manera como la termodinámica intenta, partiendo del resultado general experiencia de que el movimiento continuo es imposible, determinar por vía analítica las relaciones a que deben satisfacer los fenómenos particulares.

Las teorías constructivas tienen, además de la capacidad de adaptación y evidencia, la ventaja de ser completas; la ventaja de las teorías de principios es la perfección y la seguridad de los fundamentos.

La teoría de la relatividad pertenece a la segunda categoría. Para conocer su esencia, se debe, en primer lugar, aprender a conocer los principios sobre los cuales reposa. Pero, antes de examinarlos, debo destacar que la teoría de la relatividad se parece a un monumento de dos pisos, que son la teoría de la relatividad restringida y la de la relatividad generalizada. La primera, sobre la cual descansa la segunda, se refiere a todos los fenómenos físicos, a excepción de la gravitación, y las relaciones de ésta con las otras fuerzas naturales.

Desde la antigüedad griega, se sabe que, para describir el movimiento de un cuerpo, hay que referirse al movimiento de otro cuerpo, con el cual se relaciona el movimiento del primero. Se relaciona el movimiento de un coche con el sol, el movimiento de un planeta con la totalidad de las estrellas fijas visibles. En física, los cuerpos con los que se relacionan, en lo referente al espacio, los fenómenos se designan con el nombre de sistemas de coordenadas. Por ejemplo, las leyes de la mecánica de Galileo y Newton no pueden formularse más que utilizando un sistema de coordenadas.

Pero para que las leyes de la mecánica sean válidas, no se puede escoger a voluntad el estado de movimiento del sistema de coordenadas (debe estar sin rotación y sin aceleración). Un sistema de coordenadas admisible en mecánica se llama "un sistema de inercia". Pero el estado de movimiento de un sistema de inercia no se determina, según la mecánica, sin ambigüedad por la naturaleza. Hay que decir, más bien, que un sistema de coordenadas que se desplazan en línea recta y con movimiento uniforme con relación a un sistema de inercia es, igualmente, un sistema de inercia. Por "principio de relatividad restringida" se entiende la extensión de la proporción de arriba a cualquier fenómeno natural; toda ley general de la naturaleza, válida para un sistema de coordenadas K , debe ser válida, sin modificación, para un sistema de coordenadas K_1 , animado de un movimiento de traslación uniforme con relación a K .

El segundo principio sobre el que descansa la teoría de la relatividad restringida es el "principio de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío". Este principio dice: "la luz tiene siempre, en el vacío, una velocidad de propagación determinada (independiente del estado de movimiento y de la fuente luminosa). La confianza que el físico concede a este principio se debe al éxito de la electrodinámica de Lorentz y Maxwell.

Los dos principios arriba mencionados se ven poderosamente apoyados por la experiencia, pero no parecen, lógicamente, compatibles. La teoría de la relatividad restringida ha llegado finalmente a realizar esta unión lógica modificando la cinemática, es decir, la doctrina de las leyes referentes al espacio y al tiempo partiendo del punto de vista físico. Ha demostrado esto: un sistema de coordenadas, y es obvio que la forma de los metros y la marcha de los relojes deben depender de su estado de movimiento con relación al sistema de coordenadas.

Pero la antigua física, que comprende las leyes de Galileo y Newton, no se adapta a esta cinemática relativista en cuestión. De esta última se desprendían condiciones matemáticas generales, a las que las leyes naturales debían corresponder, si los dos principios generales en cuestión fuesen ciertos. La física debía adaptarse a éstos. En particular, se ha llegado a una nueva ley del movimiento para los puntos materiales (desplazándose rápidamente), que se ha comprobado perfectamente en las partículas cargadas eléctricamente. El resultado más importante de la teoría de la relatividad restringida se refiere a las masas inertes de un sistema de cuerpos. Se ha demostrado que la inercia de un sistema debe depender de su contención en energía, y se ha llegado, por decirlo así, a la concepción de que unas masas inertes no son otra cosa que la energía latente. El principio de la conservación de la masa ha perdido su independencia y se confunde con el de la conservación de la energía. La teoría de la relatividad restringida, que no era sino la continuación sistemática de la electrodinámica de Maxwell y Lorentz, ha abierto nuevos caminos pasando de sus propios límites. La independencia de las leyes físicas con relación al estado de movimiento del sistema de coordenadas ¿debiera limitarse al movimiento de traslación de los sistemas coordenados, unos con relación a los otros? ¿Qué tiene, pues, que hacer la naturaleza con los sistemas de coordenadas introducidos por nosotros y su estado de movimiento no debería ser absolutamente independiente de esta elección (principio de relatividad generalizada). La aplicación de este principio de relatividad generalizada es fácil de comprender por medio de una experiencia muy común, según la cual la gravedad y la inercia de un cuerpo están regidas por la misma constante (igualdad de la misma gravitante e inerte).

Piénsese, por ejemplo, en un sistema de coordenadas animadas por un movimiento de rotación uniforme con relación a un sistema de inercia en el sentido de Newton. Las fuerzas centrífugas que intervienen, relativas a ese sistema, deben ser concebidas, en el sentido de la doctrina de Newton, como efecto de la inercia. Pero esas fuerzas centrífugas son, exactamente como las fuerzas de gravedad, proporcionales a la masa del cuerpo. ¿No sería factible, en unas circunstancias, concebir el sistema de coordenadas como inmóvil, y las fuerzas centrífugas como fuerzas de gravitación?. Es fácil concebirlo, pero la técnica clásica se opone a ello. Esta reflexión hecha a vuelo de pájaro, nos deja presentir que una teoría de la relatividad generalizada debe suministrarnos las leyes de la gravitación, y la prosecución lógica de la idea ha justificado esta esperanza. Pero el camino ha sido más arduo de lo que podía esperarse, porque existía el abandono de la geometría de Euclides. Lo cual significa que las leyes según las cuales los cuerpos sólidos deben disponerse en el espacio no concuerdan exactamente con las leyes especiales que prescribe la geometría euclidiana; es esto lo que quiere decirse cuando se habla de la "curvatura del espacio". Los conceptos fundamentales, la "recta", el "plano", etc., pierden, de este modo, su significación exacta en física. En la teoría de la relatividad generalizada, la doctrina del espacio y el tiempo, la cinemática, no llena el papel de un fundamento independiente del resto de la física. La manera de comportarse unos cuerpos y la marcha de los relojes dependen, más bien, de los campos de gravitación, que son producidos a su vez por la materia.

La nueva teoría de la gravitación se aparta notablemente, desde el punto de vista de los principios, de la teoría de Newton; pero sus resultados prácticos concuerdan tanto con los de esta teoría, que es difícil encontrar pruebas de diferencias que sean accesibles a la experiencia. He aquí los que, hasta el presente, se han encontrado:

1º La rotación de las elipses de las órbitas planetarias alrededor del sol (comprobada por Mercurio).

2° La curvatura de los rayos luminosos por los campos de gravitación (comprobada por las fotografías inglesas de eclipses solares).

3° Un desplazamiento, hacia el rojo, de los rayos espectrales de la luz que nos envían las estrellas de masa importante. El principal atractivo de la teoría es que constituye toda una lógica.

Si solamente una de estas consecuencias se demostrara inexacta, habría que abandonarla; cualquier modificación parece imposible sin derrumbar todo el edificio.

Pero nadie debe pensar que la gran obra de Newton puede realmente ser suplantada por esta teoría, o cualquier otra. Sus ideas, amplias y claras, conservarán siempre, en el futuro, su importancia eminente, y es sobre ellas sobre las que hemos fundado todas nuestras especulaciones modernas acerca de la naturaleza del mundo.

Albert Einstein