

ALBERT EINSTEIN

SOBRE LA TEORÍA DE LA
RELATIVIDAD ESPECIAL
Y GENERAL

Siete libros para entender el siglo XX

DEBATE
EDITORIAL

9. La relatividad de la simultaneidad

Hasta ahora hemos referido nuestros razonamientos a un determinado cuerpo de referencia que hemos llamado «terraplén» o «vías». Supongamos que por los carriles viaja un tren muy largo, con velocidad constante v y en la dirección señalada en la Fig. 1. Las personas que viajan en este tren hallarán ventajoso utilizar el tren como cuerpo de referencia rígido (sistema de coordenadas) y referirán todos los sucesos al tren. Todo suceso que se produce a lo largo de la vía se produce también en un punto determinado del tren. Incluso la definición de simultaneidad se puede dar exactamente igual con respecto al tren que respecto a las vías. Sin embargo, se plantea ahora la siguiente cuestión:

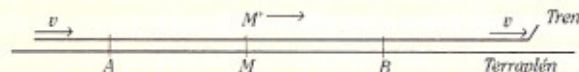


Fig. 1

Dos sucesos (p. ej., los dos rayos A y B) que son simultáneos respecto al terraplén, ¿son también simultáneos respecto al tren? En seguida demostraremos que la respuesta tiene que ser negativa.

Cuando decimos que los rayos A y B son simultáneos respecto a las vías queremos decir: los rayos de luz que salen de los lugares A y B se reúnen en el punto medio M del tramo de vía $A-B$. Ahora bien, los sucesos A y B se corresponden también con lugares A y B en el tren. Sea M' el punto medio del segmento $A-B$ del tren en marcha. Este punto M' es cierto que en el instante de la caída de los rayos ⁷ coincide con el punto M , pero, como se indica en la figura, se mueve hacia la derecha con la velocidad v del tren. Un ob-

⁷ ¡Desde el punto de vista del terraplén!

servador que estuviera sentado en el tren en M' , pero que no poseyera esta velocidad, permanecería constantemente en M , y los rayos de luz que parten de las chispas A y B lo alcanzarían simultáneamente, es decir, estos dos rayos de luz se reunirían precisamente en él. La realidad es, sin embargo, que (juzgando la situación desde el terraplén) este observador va al encuentro del rayo de luz que viene de B , huyendo en cambio del que avanza desde A . Por consiguiente, verá antes la luz que sale de B que la que sale de A . En resumidas cuentas, los observadores que utilizan el tren como cuerpo de referencia tienen que llegar a la conclusión de que la chispa eléctrica B ha caído antes que la A . Llegamos así a un resultado importante:

Sucesos que son simultáneos respecto al terraplén no lo son respecto al tren, y viceversa (relatividad de la simultaneidad). Cada cuerpo de referencia (sistema de coordenadas) tiene su tiempo especial; una localización temporal tiene sólo sentido cuando se indica el cuerpo de referencia al que remite.

Antes de la teoría de la relatividad, la física suponía siempre implícitamente que el significado de los datos temporales era absoluto, es decir, independiente del estado de movimiento del cuerpo de referencia. Pero acabamos de ver que este supuesto es incompatible con la definición natural de simultaneidad; si prescindimos de él, desaparece el conflicto, expuesto en §7, entre la ley de la propagación de la luz y el principio de la relatividad.

En efecto, el conflicto proviene del razonamiento del epígrafe 6, que ahora resulta insostenible. Inferimos allí que el hombre que camina por el vagón y recorre el trecho w en un segundo recorre ese mismo trecho también en un segundo respecto a las vías. Ahora bien, toda vez que, en virtud de las reflexiones anteriores, el tiempo que necesita un proceso con respecto al vagón no cabe igualarlo a la duración del mismo proceso juzgada desde el cuerpo

de referencia del terraplén, tampoco se puede afirmar que el hombre, al caminar respecto a las vías, recorra el trecho w en un tiempo que —juzgado desde el terraplén— es igual a un segundo.

Digamos de paso que el razonamiento de §6 descansa además en un segundo supuesto que, a la luz de una reflexión rigurosa, se revela arbitrario, lo cual no quita para que, antes de establecerse la teoría de la relatividad, fuese aceptado siempre (de modo implícito).

10. *Sobre la relatividad del concepto de distancia espacial*

Observamos dos lugares concretos del tren⁸ que viaja con velocidad v por la línea y nos preguntamos qué distancia hay entre ellos. Sabemos ya que para medir una distancia se necesita un cuerpo de referencia respecto al cual hacerlo. Lo más sencillo es utilizar el propio tren como cuerpo de referencia (sistema de coordenadas). Un observador que viaja en el tren mide la distancia, transportando en línea recta una regla sobre el suelo de los vagones, por ejemplo, hasta llegar desde uno de los puntos marcados al otro. El número que indica cuántas veces transportó la regla es entonces la distancia buscada.

Otra cosa es si se quiere medir la distancia desde la vía. Aquí se ofrece el método siguiente. Sean A' y B' los dos puntos del tren de cuya distancia se trata; estos dos puntos se mueven con velocidad v a lo largo de la vía. Preguntémonos primero por los puntos A y B de la vía por donde pasan A' y B' en un momento determinado t (juzgado desde la vía). En virtud de la definición de tiempo dada en §8, estos puntos A y B de la vía son determinables. A con-

⁸ El centro de los vagones primero y centésimo, por ejemplo.

tinuación se mide la distancia entre A y B transportando repetidamente el metro a lo largo de la vía.

A priori no está dicho que esta segunda medición tenga que proporcionar el mismo resultado que la primera. La longitud del tren, medida desde la vía, puede ser distinta que medida desde el propio tren. Esta circunstancia se traduce en una segunda objeción que oponer al razonamiento, aparentemente tan meridiano, de §6. Pues si el hombre en el vagón recorre en una unidad de tiempo el trecho w medido desde el tren, este trecho, medido desde la vía, no tiene por qué ser igual a w .

11. *La transformación de Lorentz*

Las consideraciones hechas en los tres últimos epígrafes nos muestran que la aparente incompatibilidad de la ley de propagación de la luz con el principio de relatividad en §7 está deducida a través de un razonamiento que tomaba a préstamo de la mecánica clásica dos hipótesis injustificadas; estas hipótesis son:

1. El intervalo temporal entre dos sucesos es independiente del estado de movimiento del cuerpo de referencia.
2. El intervalo espacial entre dos puntos de un cuerpo rígido es independiente del estado de movimiento del cuerpo de referencia.

Si eliminamos estas dos hipótesis, desaparece el dilema de §7, porque el teorema de adición de velocidades deducido en §6 pierde su validez. Ante nosotros surge la posibilidad de que la ley de la propagación de la luz en el vacío sea compatible con el principio de relatividad. Llegamos así a la pregunta: ¿cómo hay que modifi-