

LA RELATIVIDAD Y EL TIEMPO

Héctor Rago
rago@ula.ve

La relatividad de la ignorancia o la ignorancia de la relatividad.

Nada es tan eficaz como la ignorancia, a la hora de producir confusiones y tergiversaciones. Tal vez ningún área de la física ha generado tantas interpretaciones confusas, medias verdades y francas mentiras como la teoría especial de la relatividad y en especial la relatividad del tiempo.

Y sin embargo es relativamente sencillo explicar qué significa la mediática frase “*el tiempo es relativo*”. Otra cosa es que el resultado nos luzca obvio, natural o del sentido común. Comentaremos algo al respecto más adelante.

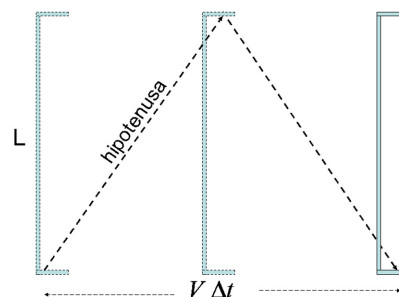
El tiempo absoluto de Newton

A pesar de que Newton vivió y murió en tiempos del absolutismo, la frase “*el tiempo es absoluto*”, pesada de tanta carga filosófica significa para la física algo muy sencillo.

Imaginemos a un físico que designaremos por N que tiene un reloj construido como un par de espejos opuestos y un rayo de luz (o fotón, si el lector prefiere) que constantemente rebota entre ambas caras. El tic-tac del reloj es el lapso que va desde cuando el fotón sale de un espejo hasta cuando regresa al mismo espejo después de haber rebotado en el otro; es decir, el período. Si la separación entre los espejos la denotamos por L , entonces el viaje de ida y vuelta que llamaremos lapso de tiempo propio y denotaremos por Δt_0 , resulta ser $\Delta t_0 = \frac{2L}{c}$, porque $2L$ es

la distancia recorrida, y c es la velocidad de la luz *medida por N* . Imaginemos ahora a N' , otro físico que se mueve respecto de N con una velocidad V y tiene un reloj similar. Es claro que para N' el período de *su* reloj es también Δt_0 : cada uno de ellos tiene el derecho (y el deber) de declarar que él está en reposo y que el que se mueve es el otro (esta es la esencia del principio de relatividad). Ahora analicemos cómo N establece el período del reloj de N' . A esta cantidad, el tic-tac de N' atestiguado por N lo denotaremos Δt .

Supongamos que el movimiento ocurre en la dirección transversal a los relojes. De la figura es fácil ver que la distancia (vista por N) que el fotón debe recorrer, es el doble de la hipotenusa del triángulo formado por L y por



$\frac{V \Delta t}{2}$, que podemos escribir gracias a Pitágoras, como $2 \times \sqrt{L^2 + \frac{V^2 \Delta t^2}{4}}$.

Esta distancia la recorre la luz, con una velocidad (así lo hubiese calculado Newton!) que es la composición de la velocidad respecto N' (es decir c en la dirección vertical del dibujo) con la velocidad horizontal V con la que N ve moverse a N', es decir con una velocidad igual a $\sqrt{c^2 + V^2}$. Por tanto, el tic-tac Δt resulta

$$\Delta t = \frac{2 \times \sqrt{L^2 + \frac{V^2 \Delta t^2}{4}}}{\sqrt{c^2 + V^2}}$$

Como Δt está a ambos lados de la igualdad, debemos despejarlo. Un cálculo elemental da como resultado, $\Delta t = \frac{2L}{c}$

Pero $\frac{2L}{c}$ es precisamente el lapso de tiempo propio, es decir, $\Delta t = \Delta t_0$ y por consiguiente lapsos medidos por N y medidos por N' coinciden. El período de relojes asociados con observadores en movimiento relativo uniforme es el mismo; es decir, los lapsos no dependen del estado de movimiento relativo de los observadores, y es por tanto *absoluto*.

Observe que es fundamental en la deducción de arriba, que la velocidad de la luz respecto de N es la adición (vectorial) de la velocidad de la luz respecto de N' más la velocidad del sistema de referencia de N' respecto de N. En ese caso, respecto de N, el fotón recorre una distancia mayor (las hipotenusas), pero las recorre a una velocidad mayor.

El tiempo relativo de Einstein

El gran aporte de Einstein fue llevar hasta sus últimas consecuencias, caiga quien caiga, todo el peso de las leyes (de Maxwell) que sugerían que la velocidad de la luz es una constante universal, y eso quiere decir que distintos observadores (N, N', N'', ...) cuando cada uno de ellos mide la velocidad de la luz, obtiene el mismo valor que los demás, así se estén moviendo uno con respecto del otro a cualquier velocidad (uniforme). Si esto es así, el rayo de luz del reloj de N', visto por N, debe recorrer una distancia más grande (que el del reloj propio) y lo hace *a la misma velocidad*. Por consiguiente el período del reloj de N' que detecta N, es mayor. Esto dicho en matemáticas, es:

$$\Delta t = \frac{2 \times \sqrt{L^2 + \frac{V^2 \Delta t^2}{4}}}{c}$$

Y despejando Δt , obtenemos,

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

De modo que N detecta un valor mayor para el período del reloj en movimiento. Como el período es mayor, el reloj de N' respecto del de N, se *enlentece*, y tanto más cuanto mayor sea la velocidad relativa V . De allí la famosa y poco entendida frase, *el tiempo es relativo*, es decir, el lapso entre dos eventos depende del estado de movimiento de quien lo mida.

Por ejemplo, si yo soy N' y mi reloj detecta un lapso (propio) Δt_0 entre dos eventos de 5 minutos, un observador N que se mueva respecto de mí con una rapidez de 300 Km/hora, asociará un intervalo temporal entre esos mismos eventos, aplicando la fórmula anterior, no de 5 minutos sino de 5 minutos $+ 2 \times 10^{-13}$ minutos!!

El asunto fundamental radica entonces en saber si la velocidad de la luz depende del movimiento relativo entre la fuente de luz y el observador, o no. Es decir, si tiene el mismo valor para todos los observadores y es por tanto una constante universal o no. Éste es un asunto que ha sido dilucidado de dos maneras: por las mediciones directas y por las consecuencias observacionales que se desprendan de haber supuesto que es una constante, es decir, por las predicciones y explicaciones de la relatividad especial.

El lector conoce que el desarrollo de la física ha evidenciado que la velocidad de la luz es constante. Tanto la medición directa como las consecuencias que se desprenden de este resultado han sido verificadas incesantemente. En la conversión de materia en energía en las reacciones nucleares (en bombas atómicas o en las estrellas) o en la explicación del spín de las partículas elementales, en la propia existencia de las antimateria; y desde la detección de muones en la superficie de la Tierra hasta la ingeniería de los aceleradores de partículas, está firmemente anclada la evidencia de que la velocidad de la luz es constante (repetimos, no depende del sistema de referencia en que se le mida), y la *relatividad del tiempo* es una consecuencia inevitable de este hecho.

Observemos que las consideraciones que la física hace para etiquetar los instantes en los que ocurren los eventos (tanto newtonianamente como einstenianamente) y los lapsos ente ellos, no tiene nada que ver ni con el tiempo psicológico ni con las convenciones asociadas con la rotación del planeta.

Un comentario final.

La velocidad de la luz es tan grande comparada con los estándares humanos, que nuestra percepción del tiempo es esencialmente newtoniana: no tenemos intuición directa del cambio de ritmo de relojes en movimiento, y choca a nuestro sentido común la idea misma de constancia de la velocidad de la luz. Cuesta que luzca “natural” que un reloj que “viajó” a gran velocidad y luego regresó a donde había quedado otro idéntico a él, esté atrasado (sea más joven) que el reloj estacionario. Cuesta tanto que se le califica de “paradoja de los gemelos”, cuando no es una paradoja sino una predicción, por demás comprobada experimentalmente.

Nuestras categorías de aprehensión de la realidad, nuestro sentido común, o intuición, o noción de lo que es lógico, obvio o natural (fraguadas por nuestra evolución en un ambiente particular) están más cerca de Newton que de Einstein. La pregunta importante es: las teorías y modelos que hacemos de la realidad, a quién le deben fidelidad, a nuestra provinciana y limitada intuición o a los hechos?

Lecturas adicionales

Reflexiones temporales: Del tiempo del mito al tiempo matemático, Héctor Rago, Boletín de la Asoc. Matemática Venezolana, Vol VI, 1, 1999, versión electrónica en <http://www.ma.usb.ve/~bol-amv/vol6.html>

Hablando de Relatividad Héctor Rago, 1 Escuela venezolana para la enseñanza de la física, Ed. CELCIEC, 2001.

Space, time and quanta, Robert Mills, ed. Freeman Co., 1994.