

Si se tiene en cuenta que, según los postulados de la relatividad especial, las leyes de la física son invariantes para todos los observadores que se encuentran en sistemas de referencia inerciales. Este último argumento implica de forma inequívoca que los fenómenos físicos ocurren de manera simétrica, es decir, sin preferencia por ningún observador. No obstante, al intentar contemplar la mal llamada "paradoja de los gemelos", otrora llamada paradoja del reloj, se introduce una aparente contradicción según el siguiente escenario: cuando un gemelo viaja a velocidades relativistas y luego regresa, envejece menos que el gemelo que permanece estacionario con respecto a un marco inercial en la Tierra. Esta asimetría emerge debido a la ruptura de simetría cuando el gemelo viajero cambia su estado de movimiento para regresar, es decir, ya no se encuentra en un sistema de referencia inercial.

Siguiendo la derivación expuesta en Ryder[2009], la ruptura de simetría en la paradoja de los gemelos aparece al considerar el tiempo propio experimentado por cada gemelo. El gemelo viajero (**B**), al moverse a una velocidad cercana a la luz, experimenta una dilatación temporal, según la cual su tiempo propio transcurre más lentamente comparado con el gemelo en reposo (**A**). Esta dilatación está descrita por  $\Delta t' = \gamma \Delta t$  donde  $\Delta t$  es el tiempo medido por el observador en reposo (**A**),  $v$  es la velocidad relativa del gemelo viajero (**B**) y  $\gamma = (1 + v^2)^{-1/2}$ . Durante el trayecto de ida y vuelta, (**B**) está en un marco inercial distinto del de (**A**), para calcular correctamente el tiempo experimentado por ambos gemelos, se deben tener en cuenta los intervalos de tiempo propio de cada uno (es como viajar al norte e indicar cual es la izquierda o la derecha y diferir de un viajero que viaja hacia el sur).

La fenomenología de la asimetría surge cuando (**B**) cambia de velocidad para retornar a la Tierra. Este cambio implica una aceleración que rompe la simetría inherente a los marcos inerciales. Al hacerlo, (**B**) se mueve entre dos marcos de referencia, lo que introduce una diferencia fundamental en sus experiencias temporales, ya que ahora está en un marco de referencia no inercial durante el periodo de aceleración. El tiempo transcurrido durante esta fase de aceleración puede aproximarse usando la ecuación de la hipérbola de Minkowski para trayectorias aceleradas:  $\tau = \frac{c}{a} \sinh^{-1} \left( \frac{v}{c} \right)$ , en donde  $\tau$  es el tiempo propio experimentado por (**B**),  $a$  es la aceleración, y  $v$  es la velocidad alcanzada. Aunque el periodo de aceleración puede ser corto en duración, es suficiente para causar la ruptura de simetría que da lugar a la diferencia en los tiempos medidos por ambos gemelos.

La respuesta ideal al estudiante radica en que la ruptura de simetría no depende de si el gemelo viajero completa o no su viaje de regreso, lo crucial es el cambio de velocidad. Si (**B**) se estrellara antes de regresar, o si su cohete se desintegrara en el trayecto, también habría un cambio en su velocidad que alteraría la dilatación temporal. Lo importante es que (**B**) ha cambiado su estado de movimiento respecto a (**A**), lo que conduce a una diferencia en el tiempo propio que experimentan ambos.

Como conclusión, es pertinente mencionar que la invariancia de las leyes de la física se mantiene únicamente en marcos de referencia inerciales, en el momento en que (**B**) cambia de velocidad introduce una ruptura de simetría que no puede ser ignorada. Los marcos de referencia no inerciales requieren un tratamiento distinto que considera las aceleraciones, lo que explica por qué (**B**) envejece menos que (**A**). Esta diferencia en el envejecimiento no depende de si (**B**) completa su viaje de regreso o no, sino del simple hecho de que ha experimentado un cambio de velocidad y, por tanto, un cambio en su percepción del tiempo.