

Los relojes atómicos que dieron la vuelta al mundo para demostrar la teoría de la relatividad

Publicado el 10 de julio de 2016 | Comentarios (0)

Eran las 07:30 del 4 de octubre de 1971 cuando el físico Joseph Hafele y el astrónomo Richard Keating se suben a un avión comercial con la intención de dar la vuelta al mundo acompañados de un equipaje singular: dos relojes atómicos de cesio. La idea: llevar a cabo una primera evidencia experimental para comprobar la teoría de la relatividad de Einstein y la dilatación del tiempo.

Primero fue la teoría (de la relatividad)

En 1905 y con tan sólo 26 años Albert Einstein dio un vuelco a la física con la publicación de un artículo bajo el título (nada pretencioso) de On the Electrodynamics of Moving Bodies. Einstein formulaba por primera vez la teoría de lo que luego sería la teoría de la relatividad especial, lo que a efectos prácticos cambió por completo la visión que teníamos del mundo.

Entre otras propuesta radicales del documento nos encontrábamos con que Einstein dispensaba el concepto de tiempo absoluto. Según explicaba, el tiempo no pasa en todas partes con la misma rapidez, sino que depende de la velocidad. También decía que el tiempo pasa más lentamente para alguien que viaja más rápido, y al afirmar esto, Einstein no estaba pensando en una percepción individual del tiempo, sino del tiempo como una dimensión física.

De esta forma y como ejemplo, para cualquier persona que se mueve a una velocidad mayor, los relojes pasarían más lentamente, al igual que el agua tardaría más en hervir si estuviera cocinando o una partida de ajedrez duraría más si estuviera jugando. Y lo curioso es que bajo la

teoría, el individuo en cuestión no se daría cuenta de esto debido a que su percepción del tiempo también se ralentiza. Dicho de otra forma, el sujeto en cuestión envejecería menos rápido.

Es aquí cuando aparece la paradoja de los relojes (o de los gemelos), un experimento mental que analiza la distinta percepción del tiempo entre dos observadores con diferentes estados de movimiento. La propuso el propio Einstein al desarrollar la teoría de la relatividad especial y en ella se postula que la medida del tiempo no es absoluta. Por tanto, dados dos observadores, el tiempo medido entre dos eventos por estos observadores, por lo general no coincide, más bien la diferente medida depende del estado de movimiento relativo entre ellos.

Cuando Einstein habla de la teoría de la relatividad postula que las medidas de tiempo y espacio son relativas y no absolutas, ya que dependen del estado de movimiento del observador. Es en este contexto cuando se plantea la paradoja de los relojes o los gemelos que el propio Einstein aclaró formulando la relatividad general:

Dos gemelos; el primero de ellos hace un largo viaje a una estrella en una nave espacial a velocidades cercanas a la velocidad de la luz; el otro gemelo se queda en la Tierra. A la vuelta, el gemelo viajero es más joven que el gemelo terrestre.

Al propio Einstein le costó aclarar la paradoja hasta que formuló la relatividad general para demostrar que el es gemelo de la Tierra el que envejece más rápido. En cualquier caso esta proposición parecía absurda en su época a la vista de los expertos. De hecho la teoría de Einstein no fue corroborada por ninguna experiencia en la vida cotidiana. Y tampoco era de extrañar en el contexto de la época. Para medir el efecto uno tenía que viajar a gran velocidad, cerca de la velocidad de la luz... o bien tener un reloj extremadamente preciso.

Diez años después Einstein formulaba su teoría de la relatividad, y entre otras cosas establecía que el movimiento de un reloj se determina, no sólo por la velocidad a la que viaja, sino también por la gravedad. Por tanto decía que un reloj corre más rápido en una montaña que en un valle, lo que ocurre es que la diferencia en la Tierra es tan tan ínfima, que no lo notamos.

Volviendo a ese avión que llevaba a Hafele y Keating, se trataba de una prueba experimental con la que dar validez a la teoría, algo así como comprobar los efectos de la relatividad a bordo de los aviones comerciales. Así daba comienzo el experimento.

Preparando la vuelta al mundo de los relojes atómicos

Después de que las aerolíneas estadounidenses inauguraran los vuelos alrededor del mundo a principios de la década de los 70, Joseph Hafele se pregunta si no sería posible tener un reloj a bordo de un avión que pueda medir el efecto que Einstein predijo.

La idea era muy básica. Antes del vuelo, todo lo que tendría que hacer sería sincronizar el reloj de viaje con uno que iba a permanecer estacionario en la Tierra, y luego el otro volaría alrededor del mundo. Si Einstein tenía razón, al final del proceso debía existir una diferencia de tiempo, una diferencia aparente con el reloj que había sido más rápido que el lento.

Hafele calcula que la diferencia de tiempo debe ser de unas pocas millonésimas de segundo. Acto seguido prepara un esquema de la prueba y la lleva a una conferencia donde la presenta en un congreso de físicos. Allí entre el público se encontraba el astrónomo Richard Keating, quién por aquellas fechas trabajaba para la Time Service Division of the US Naval Observatory en Washington. Una casualidad, porque se trataba del

brazo del Ejército de Estados Unidos responsable de mantener la hora exacta en el país. Keating había llevado a menudo un reloj atómico portátil con él en los vuelos al extranjero con el fin de sincronizar los relojes atómicos en otras instalaciones de Estados Unidos en todo el mundo.

Así que ese día y mientras asistía a la propuesta de Hafele, el astrónomo se da cuenta de que un reloj de este tipo sería capaz de medir la diferencia del tiempo que Hafele había calculado. Acto seguido los dos se reúnen y comienzan a planear el viaje alrededor del mundo. Aún así, cabe recalcar que el propio Keating era escéptico en cuanto a si cualquier diferencia sería notable. Según el propio astrónomo contaría:

No me fiaba de estos profesores que garabatean algo en una pizarra, los que pretender saberlo todo. Había hecho demasiadas mediciones en mi tiempo que no resultaron como había predicho.

Viajando en turista con relojes atómicos (de cesio)

Como más tarde contaría el propio Hafele a modo de broma sobre el experimento, cada reloj pesaba “una tonelada” y fueron cargados en los aviones en clase turista, como pasajeros normales justo al lado de ambos ocupando dos asientos del avión. Dos relojes atómicos que habían atado a bordo de un Boeing 747, de alrededor de 60 kilos cada uno y el tamaño de una cómoda pequeña.

En algún punto del propio experimento evitaron llamar a los relojes “atómicos”. Durante una escala en Estambul varios periodistas le habían preguntado al propio Hafele qué relación existía entre su experimento y una bomba atómica. Además, los pasajeros que volaron con ellos se horrorizaron más de una vez cuando preguntaban y los científicos respondían con toda inocencia que las cajas que ocupaban los asientos al

lado de ellos eran realmente un reloj atómico. Así fue como decidieron llamarlo simplemente reloj de cesio.

En otra ocasión Hafele contaba que un pasajero observó el contador del reloj de cesio y luego su propio reloj de pulsera para luego comentarle al físico que el reloj de cesio iba un poco más rápido. En este caso el pasajero no podía saber que lo que tenía justo delante era, probablemente, uno de los relojes más precisos del mundo.

Hafele y Keating volaron dando la vuelta al mundo por primera vez de oeste a este, para luego cuatro días más tarde repetir el viaje en la dirección opuesta. Su primer viaje, de una duración de 65 horas en total, les llevó de Washington DC a Londres, de allí a Frankfurt, Estambul, Beirut, Teherán, Delhi, Bangkok, Hong Kong, Tokio, Honolulu, Los Ángeles, Dallas y finalmente Washington otra vez.

No fue un trabajo fácil. Se trataba de viajes donde ambos tenían que cargar el pesado reloj (realmente siempre fueron dos juntos o “pegados” para que las mediciones fueran más precisas), a lo que había que sumar que apenas tenían oportunidad de dormir, principalmente porque los instrumentos eran frágiles y requerían de una vigilancia constante. Por si todo esto no fuera suficiente, el propio Keating contaría que sufrió pequeñas descargas eléctricas en un vuelo debido a un cable defectuoso en el aparato.

Cada vez que llegaban a tierra Hafele era el encargado de alimentar los datos que habían recogido en la ecuación de Einstein. Una vez tenían los efectos de la velocidad y la fuerza de gravedad, calculaban que el reloj en el avión debía estar funcionando entre 17 y 63 mil millonésimas de segundo más lento. Y en efecto, los datos les ofrecen que se estaba ejecutando 59 mil millonésimas de segundo más lento.

Debido a que el reloj que se había quedado en Washington estaba girando con la Tierra, el viaje hacia el oeste obtiene el resultado opuesto. Ahora, el

tiempo en Washington pasaba más lentamente que a bordo del avión por una suma de 273 mil millonésimas de segundo.

Al principio esto les pareció extraño. Pensaron que después de todo, en este último caso el reloj del avión iba más rápido que el que estaba en tierra. Pero la cosa se veía diferente cuando se ve desde el exterior: en rotación con la Tierra, el reloj en tierra fue en realidad más rápido que el que estaba en el avión, el cual volaba en dirección opuesta a la rotación de la Tierra. Ambos habían concluido que la única explicación posible venía por la propia teoría de la relatividad.

Para disgusto que gran parte de la comunidad de físicos, quienes veían el experimento como innecesario, el vuelo del reloj atómico de Hafele y Keating tuvo una gran cobertura mediática. No fue el primer experimento en probar la teoría de Einstein, anteriormente ya existían [varios ensayos](#) desde el primero que tuvo lugar en 1938. Sí, estos primeros experimentos midieron la diferencia en el tiempo necesario para que las partículas elementales que se habían acelerado a altas velocidades comenzaran a decaer. Pero como siempre se le pidió a Einstein en su momento, no eran tangibles para los mortales, menos aún para el profano.

El reloj que Hafele y Keating llevaron a bordo con su equipaje de mano era más real, o quizá mundano. Y como diría el mismo Hafele, “en algún momento del experimento nos dimos cuenta de que este ensayo era realmente para la población entera, y no para unos cuantos expertos en un salón”.

Síguenos también en [Twitter](#), [Facebook](#) y [Flipboard](#).