

Einstein, la Relatividad Especial y la sincronización de relojes

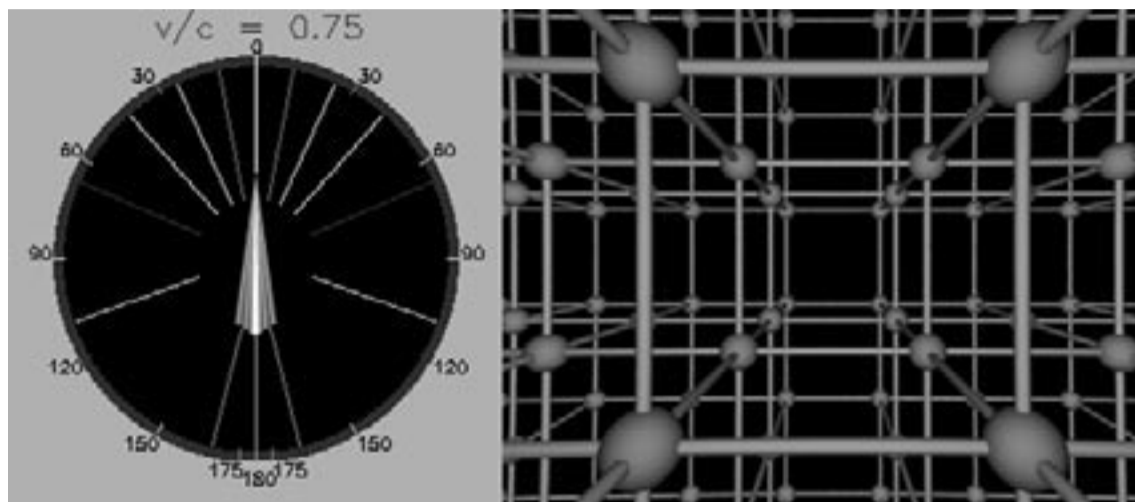
Alejandro Ramírez Solís

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Einstein es, sin duda alguna, el científico más famoso del planeta. Sin embargo, pocos saben cuándo y por qué se volvió tan famoso. En realidad, su fama surge por dos razones básicas. La primera es que desarrolló, él solo y de manera independiente, una nueva teoría física que revolucionó la forma de pensar acerca del espacio y del tiempo. La segunda es que Einstein hizo una predicción teórica realmente extraordinaria: la luz por ser energía, siendo equivalente a la masa por su famosa ecuación $E=mc^2$, también está sujeta a los efectos gravitacionales y viajará doblándose en el espacio cerca de un objeto muy masivo, como el Sol. La predicción, hecha en 1917, resultó ser confirmada experimentalmente 4 años más tarde cuando se midió la posición de algunas estrellas durante un eclipse solar. Esta confirmación experimental lanzó la genialidad de Einstein al mundo cuando el resultado fue publicado en primera plana en los periódicos de Londres y Nueva York. Para dar al César lo que es del César debemos enfatizar que, en realidad, la predicción de Einstein fue basada en una sugerencia

explícita del genio matemático Schwarzschild, que le envió desde las trincheras durante la primera guerra mundial, carta que posteriormente Einstein reconoció haber recibido. Por otro lado, aunque abordaremos en otra entrega la famosa confirmación experimental de la predicción de Einstein, podemos adelantar que debido a limitaciones en los aparatos de medición de la época, las mediciones tenían algunos errores que afortunadamente no fueron puestos en evidencia en su momento, ya que ahora sabemos que en realidad la teoría hizo las predicciones correctas de lo que debió haberse medido en el experimento realizado por Sir Arthur Eddington durante el eclipse solar total en África.

En esta entrega abordaremos, de manera bastante breve dado el espacio disponible, únicamente algunas de las ideas básicas de la primera versión de la Teoría de la Relatividad, la Relatividad Especial, que describe fenómenos físicos desde sistemas de referencia diferentes no acelerados, es decir, que se mueven con velocidad constante uno con respecto al otro. La segunda versión que abordaremos después, siendo mucho más compleja y avanzada, involucra sistemas de referencia acelerados y hace desaparecer el concepto de "fuerza de gravedad" a cambio de intro-



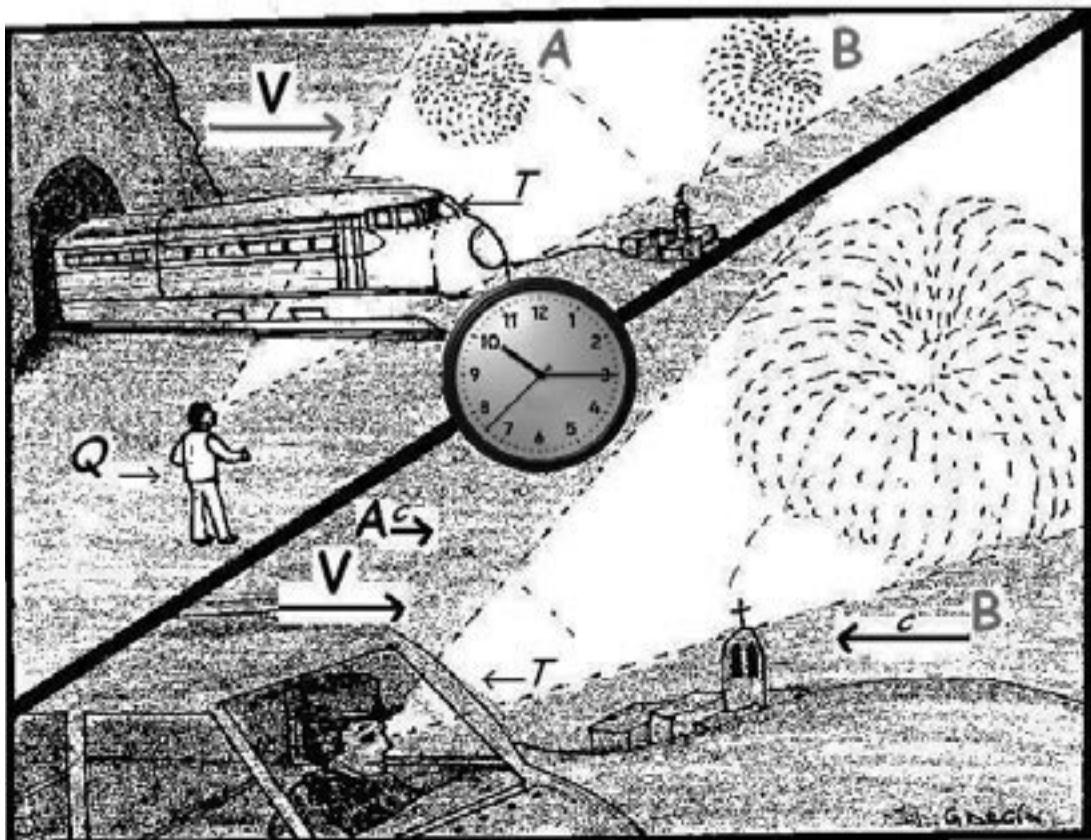
La figura muestra lo que un observador ve cuando viaja a 3/4 de la velocidad de la luz. Por ejemplo, los objetos que se encontraban directamente a la derecha y la izquierda (90°) del observador en reposo, ahora aparecen a menos de 45°.

ducir una "curvatura" en el continuo del espacio-tiempo.

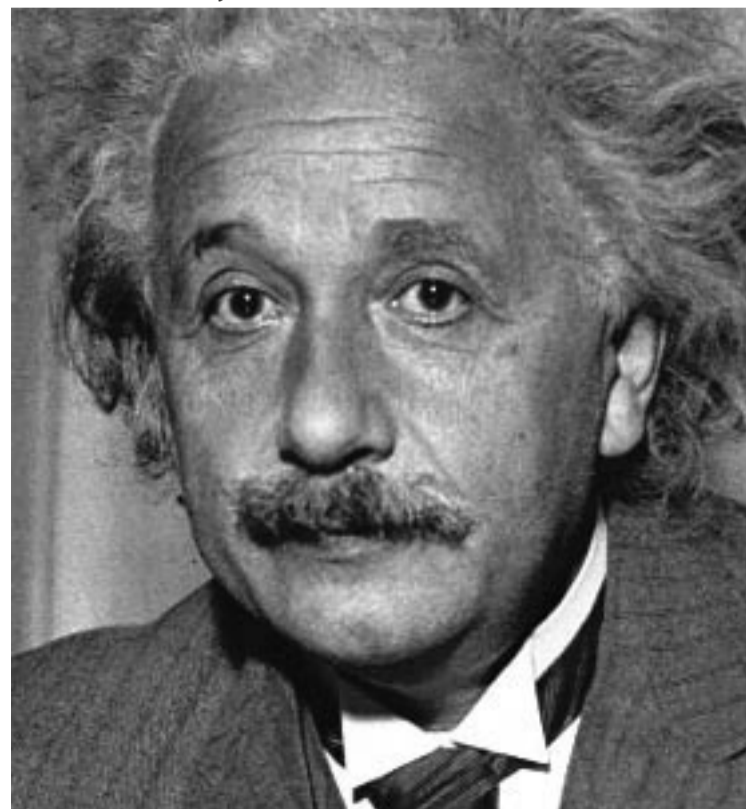
La Relatividad Especial fue planteada por Einstein en 1905 en un artículo que no causó gran sensación en esa época. Las razones del poco impacto entonces son comprensibles: nada más ni nada menos, proponía un replanteamiento completamente nuevo de los conceptos fundamentales del espacio y del tiempo, haciendo desaparecer la noción Galileana y Newtoniana de que es posible medir el espacio de manera independiente del tiempo. Para hacer más notable la hazaña de Einstein notemos que, aún hoy en día, nos parece absolutamen-

te lógico que podamos medir la longitud de un lápiz, de un edificio o de una mesa sin importar si estamos en reposo o sobre un auto o un avión en movimiento. Pero entonces, ¿cómo es posible que Einstein haya descubierto que en realidad la longitud de los objetos y los intervalos de tiempo dependen del sistema de referencia que usamos para medirlos? La historia hace aparecer varias circunstancias especiales que llevaron a Einstein a cuestionar ideas que parecían "absolutamente lógicas" y a plantear lo que él llamó *Gedankenexperiment*, o "experimentos del pensamiento". Algunas de esas circunstancias especiales que llevaron a Einstein a plantear estos "Gedankenexperiment" es que, a) desde que tenía 16 años trabajó en la com-

pañía de generación de electricidad que tenían su tío y su padre, con lo cual tenía una mentalidad de aplicación práctica de sus conocimientos teóricos, b) que conocía bien los fundamentos del electromagnetismo y c) que trabajó en una oficina de patentes en Berna (Suiza) en donde recibía y evaluaba solicitudes de aplicaciones prácticas a dispositivos electromagnéticos que permitían sincronizar a dos de estos aparatos en lugares diferentes. Einstein mismo cita una circunstancia histórica particular: justo en esa época la red ferroviaria de Europa comenzaba a desarrollarse y, para su correcto funcionamiento, era crucial sincronizar los relojes de las estaciones de tren en lugares distantes más de 100 km. Estos mecanismos de



El problema de la sincronización de relojes en dos sitios distantes (ver texto).



ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.



¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS:
edacmor@ibt.unam.mx

sincronización involucraban el envío de señales electromagnéticas a lo largo de los cables del telégrafo entre dos ciudades. El problema de la sincronización de relojes en dos sitios distantes fue lo que llevó a Einstein a plantear el primero de sus "Gedankenexperiment". Podemos exponerlo brevemente aquí (ver también figura anexa). Supongamos que dos amigos deciden verificar si un par de eventos son simultáneos o no, estando uno de ellos (A) parado en el andén de la estación de tren y el otro (B) sobre un tren que corre a 100 km/h a la derecha. El experimento es tal que cuando el observador A percibe SIMULTÁNEAMENTE un par de luces en el cielo, una a 10 km a la derecha y otra 10 km a la izquierda provenientes de fuegos artificiales, el observador B se encuentra en el tren pasando, de izquierda a derecha, por la estación justo en frente de A cuando éste percibe ambas luces simultáneamente. La pregunta crucial que Einstein se planteó, cuya respuesta ahora nos parece obvia, es si para el observador B los fuegos artificiales también parecieron ser simultáneos o no. Dejo al lector el tiempo de reflexionar sobre la cuestión unos minutos. Un simple análisis da la respuesta correcta: no los percibe simultáneamente, ya que para el observador B el fuego artificial de la derecha parece haber explotado ANTES que el de la izquierda. La razón es que el tren iba corriendo de izquierda a derecha y que, por lo tanto, el tren se acercaba velozmente a la luz de la explosión en la derecha, mientras que la luz de la explosión de la izquierda tomó más tiempo en alcanzar al tren que huía de ella.

Esto evidentemente introduce un problema grave: es absolutamente imposible sincronizar un par de relojes que se encuentren en lugares distintos si no se cuenta con un tercer elemento a distancias conocidas y capaz de enviar una señal visible para ambos relojes. Esta condición, obviamente, es muy difícil de satisfacer en la mayoría de los casos. Para concluir esta sección, observemos que la velocidad de la luz es muy grande (300,000 km por segundo) por lo que, para efectos de la vida diaria, la sincronización de relojes a menos de una parte en 1,000 (es decir, relojes que se encuentren separados una distancia tal que la luz tarde más o menos 0.001 segundos en llegar de uno al otro) es fácil. Cuando se trata de la sincronización precisa de relojes

de referencia, ésta se lleva a cabo bajo condiciones mucho más estrictas y con dispositivos capaces de oscilar miles de millones de veces por segundo, con lo cual la sincronización se logra llevar a más o menos algunos ciclos del oscilador. Para estos casos se usan sistemas atómicos en condiciones ultra-controladas de pureza, presión y temperatura. Los relojes atómicos modernos usan las señales de micro-ondas que

los átomos emiten cuando sus electrones cambian de niveles de energía (ver la contribución "Qué significa la palabra Cuántico" de *La Unión de Morelos*, http://www.acmor.org.mx/descargas/nov12_cuantico.pdf). En la actualidad los relojes más precisos usan átomos ultra-fríos a temperaturas de micro-Kelvin (menores que -273 grados centígrados) en lo que se conoce como "fuentes atómicas". La precisión de estos

relojes es de +/- 0.0000000001 segundos por día, pero en Suiza se construyó en 2004 un reloj capaz de no adelantarse o retrasarse más de un segundo cada 30 millones años, usando átomos de cesio en una fuente atómica. Entre otros usos, estos relojes de referencia se usan para controlar los sistemas de posicionamiento global (conocido como GPS) que usan los aviones, barcos y autos para orientarse, así como

para controlar las emisiones de TV y de comunicaciones por satélite alrededor del mundo. Para concluir, es interesante notar que Einstein fue el padre de una teoría que trata con fenómenos físicos que no podemos percibir en la vida diaria (y que en cierta forma parecieran ir en contra del sentido común), pero su formulación estuvo en parte motivada por problemas prácticos de su época.

El primer lugar absoluto obtuvo una acreditación por parte de MILSET para integrarse a la Delegación Mexicana que participará en el evento internacional **XIII Encuentro Nacional y VII Internacional de Semilleros de Investigación de Barranquilla, Colombia del 14 al 17 de octubre de 2010**; así como una beca de inscripción que cubre los gastos de alimentación, hospedaje y transporte aéreo al lugar del evento con el siguiente trabajo:

PROYECTO: "Construcción de un Sismógrafo Casero"

AUTOR: Mathew Xavier Earathu

ASESORES: Guadalupe Machín Ramírez y Olivia Salazar Elizalde

ESCUELA: Colegio Marymount de Cuernavaca, Morelos (anoriega@marymount.edu.mx)

Los trabajos en extenso pueden consultarse en www.acmor.org.mx

Nota: Los primeros lugares absolutos son elegidos por un comité ad hoc de la ACMor, entre los primeros lugares de todas las categorías.

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx