

son enormes y de ahí la importancia de viajar más rápido que la luz.

Obstáculo 2: Los cohetes usan mucho combustible.

Un reto menos obvio es rebasar las limitaciones de los cohetes. El problema es la cantidad de combustible que se requiere, cuanto más rápido queramos viajar, mayor. Para viajes largos, a como están las cosas, la cantidad de combustible que se requeriría para viajar a una estrella próxima, sería enorme y escandalosamente cara. Por ejemplo, sólo por ponerlo al nivel actual, para viajar a la estrella más próxima: no existe en el Universo suficiente materia para convertirla en hidrógeno y oxígeno que impulsaran la nave, así que por ahí no va el asunto. Un cohete atómico sería 10 o 20 veces más eficiente. Tampoco es satisfactorio. Si imaginamos que en el futuro habrá viajes con propulsión iónica o por antimateria, la eficiencia aumentaría por un factor de 100.

Conclusión: se necesita un cohete que se desplace sin propulsión, lo cual implica encontrar un modo de modificar las fuerzas inerciales o gravitacionales o desarrollar métodos que empujen contra la propia estructura del espacio-tiempo.

Obstáculo 3: No sólo para desplazarse necesita energía el hombre.

Nuestro tercer reto es la energía. Aún con una nave que no utilizara combustible para desplazarse, otros servicios internos de la operación y la tripulación requerirían enormes cantidades de energía. Para superar esta barrera se requiere ya sea de un avance que logre obtener energía a partir del espacio (prácticamente vacío), un avance en la física de producción de energía o un avance en terrenos donde no apliquen las leyes de la energía cinética.

III. Actividades

1. Proponga que cada alumno escriba un cuento de ciencia ficción en que tengan que utilizar conceptos y suposiciones tratados en el artículo y/o la Guía del maestro. Para evaluar tome en cuenta que a mayor fundamento físico (real o hipotético) mayor calificación.

2. Para lograr un mejor trabajo pida que resuelvan primero las siguientes cuestiones:

- a) Si estuvieras en un tren sin ventanas que viaje despacio, ¿podrías notar la diferencia entre un movimiento uniforme y el reposo? ¿Entre el movimiento acelerado y el reposo? Explica de qué te serviría un vaso con agua para este propósito.
- b) La luz se mueve cierta distancia en, digamos, unos 10 000 años. ¿Es posible que el astronauta viaje más lentamente que la velocidad de la luz y llegar al mismo lugar en un viaje de 10 años? ¿Cómo lo haría?
- c) ¿Te puedes volver más joven viajando a velocidades cercanas a las de la luz?
- d) Explica por qué al observar el Universo estamos observando su pasado.

3. Pregunte a sus alumnos si comprendieron todos los términos presentes en la lectura del artículo. Si no es el caso, realice una sesión de trabajo de equipo en la cual los estudiantes que comprendan mejor los conceptos los expliquen y comenten con los alumnos que tengan dudas.

IV. Bibliografía

1. Segré, Emilio, *De los rayos X a los quarks*, Folios Ediciones, México, 1983.
2. Noreña, Francisco, *La manzana de Einstein*, ADN Editores, México.
3. Página de Internet "Warp Drive"; <http://lerc.nasa.gov/WWW/PAO/html/warp/>

Esperamos sus comentarios y sugerencias, que pueden hacer con atención a: Rosa María Catalá, al teléfono 56 22 72 97, fax 54 24 01 38, correo electrónico comoves@universum.unam.mx

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

 cómoves?



guía del maestro

Por Rosa María Catalá

Enero 2001

¿Se puede viajar más rápido que la luz?

Miguel Alcubierre
(No. 26, p.)

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Ubicación de la temática en los programas de bachillerato de la UNAM

Sistemas ENP y CCH

El artículo puede abordarse en cursos superiores de física, donde los temas de relatividad especial y relatividad general puedan conectarse para enriquecer la discusión.

II. Más información

1. Albert Einstein

En su interesante libro *De los rayos X a los quarks*, el prestigiado divulgador Emilio Segré inicia su capítulo sobre Einstein diciendo: "Para la opinión popular, Albert Einstein (1879-1955) es la encarnación perfecta de la física. En este caso pienso que la opinión popular es correcta y que será considerado como el físico más grande del siglo XX y uno de los más grandes de todos los tiempos." Para facilitar la lectura y comprensión del artículo de referencia, considero que abordar algunos pasajes de la vida de Einstein relacionados con la temática de las teorías

sobre la relatividad puede resultar de utilidad.

Einstein nació en Ulm, el 14 de marzo de 1879, hijo de una familia judía alemana de ideas liberales. Su padre era ingeniero y no tuvo mucho éxito financieramente. Albert pasó su infancia en Munich y, si bien desde temprana edad mostró signos de brillantez en su hogar, no se desempeñó excepcionalmente en la escuela. En la escuela secundaria le disgustaban los métodos alemanes de enseñanza y tuvo conflictos con sus maestros, quienes a su vez lo trataban mal. Por circunstancias económicas la familia emigró a Milán, al norte de Italia, desde donde Albert viajó a Suiza para concluir sus estudios. Ingresó al *Gymnasium* de Aarau, donde fue muy feliz y decidió adoptar la nacionalidad suiza que conservó toda su vida, aunque también tuvo la estadounidense. Posteriormente estudió en la Escuela Politécnica de Zurich. Allí destacaba en el laboratorio de física, donde podía ver los fenómenos con sus propios ojos y no a través de símbolos matemáticos. Luego de graduarse tuvo dificultades para obtener un empleo con el cual mantenerse; al principio trabajó como maestro suplente y dio lecciones privadas de física. En 1902 consiguió trabajo en la Oficina Federal de Patentes en el cantón de Berna. En esta época se casó con Mileva Maric. Tuvieron dos hijos, uno de los cuales llegó a ser un profesor de ingeniería muy respetado en la Universidad de California, Berkeley.

El empleo era perfecto para Einstein ya que le dejaba tiempo para escribir artículos de física que enviaba a los *Annalen der Physik*. En 1905 el genio de Einstein se encendió con brillo no superado. En marzo, mayo y junio escribió tres trabajos, cada uno de los cuales hubiera bastado para darle inmortalidad. En el primero aplicaba el descubrimiento del cuanto de luz para explicar el efecto fotoeléctrico. El segundo contiene la teoría del movimiento browniano, demuestra una vez más la existencia de los átomos y determina una nueva forma de calcular la constante de Boltzmann. El tercero, contiene la teoría especial de la relatividad, de la cual se deriva la célebre fórmula $E = mc^2$ que por lo general es lo único que el público conoce de Einstein. Lo que destaca de sus tres aportaciones relevantes es que Einstein utilizó métodos matemáticos simples y llegó a resultados sorprendentes aplicando una lógica inflexible, firmemente basada en la experimentación. De su trabajo sobre la relatividad derivaron grandes consecuencias prácticas, desde el equilibrio de energía de una bomba atómica, así como en el Sol, hasta la dinámica necesaria para la construcción de aceleradores de partículas. En primer lugar, este artículo provocó una revolución en los conceptos de espacio y tiempo. Durante siglos, los filósofos habían tratado de analizar estos conceptos sin alcanzar nunca resultados tan profundos y definitivos como los de Einstein. Tras continuar con otras relevantes aportaciones y desarrollar posteriormente la teoría general de la relatividad, la persecución nazi lo obligó a emigrar a Estados Unidos, donde ya sin grandes aspiraciones, trabajó en la Universidad de Princeton hasta que murió en 1955, a la edad de 77 años.

2. La relatividad especial

Para comprender un poco mejor los postulados de esta teoría conviene abordar un poco el tema de la velocidad de la luz. El hecho de que la velocidad de la luz tiene un solo valor en el vacío, que no depende de qué tan rápido se desplace el observador respecto de la fuente de luz, fue descubierto a finales del siglo pasado por dos estadounidenses, A. A. Michelson y E. W. Morley. Estos investiga-

dores llevaron a cabo un experimento para tratar de medir las diferencias en la velocidad de la luz que, según la física clásica, deberían observarse debido al movimiento de traslación de la Tierra. Consideraban que la luz debería viajar más lento en la dirección del movimiento de la Tierra y más rápido en la dirección perpendicular, debido a la presencia de una sustancia hipotética llamada éter, a través de la cual la Tierra pasaba en su movimiento, como un barco en el agua. Utilizando un aparato llamado interferómetro, encontraron que la velocidad de la luz era igual en todas direcciones. Einstein interpretó el resultado de la constancia de la velocidad de la luz en su teoría de la relatividad. La luz que proviene de una fuente que se acerca al observador viaja igual de rápido que la luz de una fuente que se aleja. Para poder explicar esto Einstein llegó a la conclusión de que el espacio y el tiempo eran parte de una misma entidad, el espacio-tiempo. La constancia de la velocidad de la luz unifica al espacio y al tiempo. Hay dos postulados fundamentales en la teoría especial de la relatividad:

Primer postulado:

"No es posible distinguir un sistema de referencia de otro que se mueva con velocidad constante en magnitud y dirección con respecto al primero. Tales sistemas son denominados inerciales. El término distinguir significa que todo experimento llevado a cabo en el primero o en el segundo siempre da el mismo resultado para un observador vinculado al sistema". Para ejemplificar esto tomemos en cuenta las siguientes situaciones: en un avión en movimiento lanzamos una moneda y la cachamos igual que como lo haríamos si el avión estuviera en reposo. El café que sirve la azafata cae en el vaso de forma equivalente en el avión que se mueve y en el que está en la pista. No existe ningún experimento que podamos realizar para determinar nuestro estado de movimiento uniforme. Las leyes de la física en la cabina que se mueve uniformemente son las mismas que las de un laboratorio en la Tierra. Muchos experimentos pueden realizarse para detectar aceleración pero, de acuerdo a Einstein, ninguno para detectar movimiento uniforme.

Segundo postulado:

"La velocidad de la luz en el vacío será siempre del mismo valor independientemente de la situación de movimiento de la fuente y del observador". Para entender mejor este postulado consideremos un ejemplo: una nave espacial parte de una estación como se ve en la figura 1. La estación emite un rayo de luz que se propaga a 300 000 km/s, valor al que llamaremos c . No importa qué velocidad tenga la nave, el tripulante de la misma puede medir la velocidad del rayo de luz y determinará también el valor c . Si ahora es la nave la que envía una señal luminosa, el observador en la estación espacial volverá a medir el valor c . La velocidad de los rayos será la misma si la nave se detiene, da la vuelta y se aproxima de regreso.

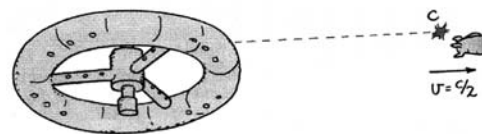


Figura 1. Los observadores en la nave o estación espacial medirán la velocidad de la luz emitida por la nave o la estación como c , y todos obtendrán el mismo valor c .

3. Algunas consecuencias de la teoría especial: el viaje de los gemelos

En la Tierra, la teoría de la relatividad especial voltea de cabeza algunas de nuestras concepciones más arraigadas sobre el mundo. Hemos aprendido por experiencia que la rapidez y la velocidad son relativas, es decir que dependen de cómo se muevan la fuente y el observador. Pero la velocidad de la luz es absoluta y ha sido bien demostrado. Por otro lado, al paso del tiempo siempre lo consideramos como una entidad absoluta, transcurre al mismo ritmo independientemente de lo que esté sucediendo. Sin embargo, Einstein descubrió que el tiempo depende del movimiento del observador y del evento que se está observando. Un ejemplo dramático del efecto de "dilatación del tiempo" es el caso clásico del viaje de los gemelos idénticos, uno es un astronauta que hace un viaje de ida y vuelta al espacio, mientras el hermano se queda en la Tierra. Cuando regresa el gemelo astronauta, es más joven que el que se quedó. ¿Qué tan joven?, depende de la velocidad relativa involucrada. Si el viajero mantuvo una velocidad de $c/2$ durante un año (medido a bordo de la nave), habrán pasado 1.15 años en la Tierra, pero si viajó a un 87% de c , entonces habrán pasado dos años en

la Tierra, y si viajó a 99.5% de c , entonces habrán pasado 10 años en la Tierra, mientras que para el astronauta sólo pasó un año.

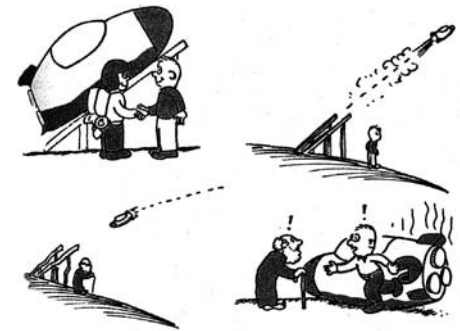


Figura 2. El gemelo que viaja no envejece tanto como el gemelo que se queda en casa.

4. Otros obstáculos para los viajes de "propulsión a distorsión"

Un sistema de propulsión interestelar sería aquel que nos llevara de una estrella a otra de forma tan confortable y rápida como la que se ve en las películas de ciencia ficción. Pero antes de que esto se convierta en realidad, existen tres barreras que los científicos deben vencer: descubrir una forma de viajar más rápido que la luz (tema de lo que trata el artículo), la invención de un sistema de propulsión eficiente, y encontrar un medio para suministrar energía (para operar, no de movimiento).

Obstáculo 1: La velocidad de la luz no alcanza.

Si el Sol fuese una canica de 1.75 cm de diámetro, la distancia del Sol a la Tierra sería de unos 80 cm, la Tierra sería ligeramente más gruesa que una hoja de papel, y la órbita de la Luna sería de 0.75 cm de diámetro. En esta escala, la estrella más cercana se encuentra a unos 390 km, aproximadamente la distancia que hay entre la Ciudad de México y Acapulco.

Ahora, si tomamos en cuenta esta escala para darnos idea del tiempo que toma ir de un lado a otro, a la luz le toma 8 minutos recorrer 80 cm, entonces para recorrer los 390 km se necesitan los 4.3 años luz que menciona el artículo. Las distancias en el espacio