

Un paseo por el mundo de la óptica relativista.

“La ciencia es esa magia que mediante el uso de la razón hace posible lo imposible y visible lo invisible.” (Frase propia)

¿Depende la imagen que vemos de la velocidad con que nos movemos?

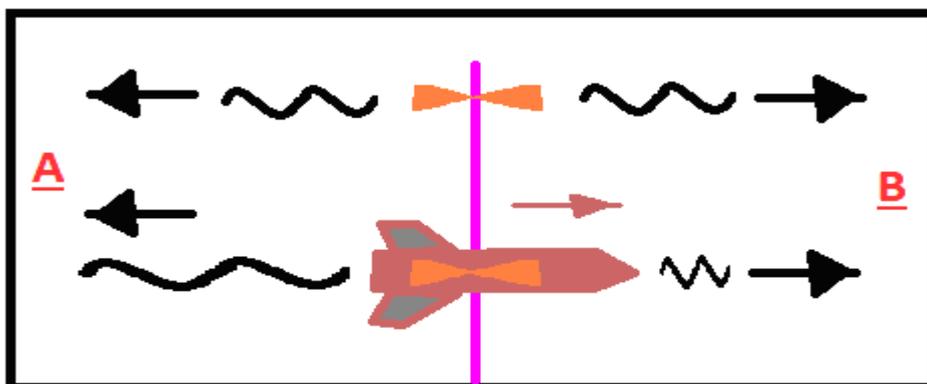
Puede parecer que no, ya que la imagen que vemos de un objeto parece depender solo de la distancia que nos separa de este y de su tamaño. Me propongo demostrar que esta imagen depende no solo de estos parámetros sino también de la velocidad a la que nos desplazamos respecto a este. Es decir, que dos observadores situados en un mismo punto del espacio y en un mismo tiempo observaran imágenes distintas del mismo objeto en función de sus distintas velocidades. Para comprender esto hay que considerar la constancia de la velocidad de la luz y los postulados relativísticos.

*****ÍNDICE*****

- 1) La constancia de la velocidad de la luz.
- 2) Sobre las consecuencias de dicha constancia.
- 3) El efecto Doppler y la relatividad.
- 4) El efecto de lluvia delantera.
- 5) Rotación de Terrell-Penrose.
- 6) ¿vemos un objeto de la misma longitud según se acerca o se aleja?
- 7) ¿Cómo ver a la vez la luz de la entrada del túnel y la de la salida sin mirar hacia atrás?

1) La constancia de la velocidad de la luz.

En nuestra vida real estamos acostumbrados a considerar todas las velocidades como magnitudes relativas a cada observador. En el caso de las ondas (el sonido por ejemplo) la velocidad de propagación de estas depende del medio de propagación (normalmente el aire) y no de la velocidad de la fuente emisora. Pongamos por ejemplo dos sistemas de altavoces uno fijo respecto a tierra, el otro en movimiento en un cohete. Ambos emiten un tono de una frecuencia F_0 cuando pasan por la misma posición. Tanto el observador situado en A como el situado en B escucharán ambos tonos a la vez, si bien con frecuencias distintas debido al efecto Doppler, del cual hablaremos más adelante.



Supongamos que la velocidad del cohete es ligeramente inferior a la del sonido. Un observador situado en el cohete tendría la sensación de que casi alcanza la onda que se desplaza hacia **B** en tanto que la onda desplazada hacia **A** le parecerá se desplaza a una velocidad supersónica. Los observadores **A** y **B** en reposo respecto al aire medirían la misma velocidad en ambos casos, independientemente de la velocidad de la fuente sonora. Es decir, observadores distintos medirían velocidades distintas en función de sus distintas velocidades respecto al medio de transmisión.

A finales del S XIX se sabía que la luz era una onda y que su velocidad de propagación “**c**” venía dada por la expresión;

$$c = \frac{1}{\sqrt{U_o E_o}} \approx 300000000 (m/seg)$$

*En adelante nos referiremos como tal a la velocidad de la luz en el vacío.

Donde **U_o** y **E_o** son dos constantes que definen las características electromagnéticas del medio. Dado que, según la física clásica, observadores distintos medirían velocidades distintas en función de sus distintas velocidades, solo podríamos considerar valores distintos de “**c**” considerando valores distintos de **U_o** y **E_o** lo cual implicaría unas características distintas del medio electromagnético en función de la velocidad a la que se desplace cada observador respecto al medio de transmisión. Pero si estas constantes definían las características electromagnéticas del medio ¿significaba esto que estas características variaban en función de la velocidad de cada observador? Según la lógica de la época todas las ondas necesitaban un medio de transmisión sin el cual no podían propagarse. En el caso de la luz este sería el llamado “**éter luminífero**”. Un observador en reposo respecto al éter mediría dicho valor de “**c**”, independientemente de la velocidad de la fuente luminosa, de la misma manera que un observador en reposo respecto al aire mediría una misma velocidad para el sonido independientemente de la velocidad de la fuente sonora.

Pero había al menos un problema que incomodó a los físicos de la época; las ondas mecánicas, al contrario que la luz, se propagan a mayor velocidad cuanto más rígido resulta el medio. Por tanto, la luz necesitaría de un medio que a su vez fuera extraordinariamente rígido para poder desplazarse a semejante velocidad y tan tenue como para que la tierra y resto de planetas, por ejemplo, pudieran desplazarse a través suyo sin apenas rozamiento. Por otra parte, todos los intentos de medir la velocidad de la tierra respecto al éter resultaron negativos, lo cual no contribuyó a resolver este incomodo panorama.

Fue Einstein quien salvo en 1905 esta situación, estableciendo la dualidad de la luz, que tendría a su vez propiedades de onda y de partícula (con lo cual podría propagarse en el vacío sin necesidad del misterioso éter) y que su velocidad de propagación es constante para todos los observadores independientemente de la velocidad de estos. Por tanto dos observadores medirán el mismo valor de velocidad de la luz indistintamente de la velocidad de estos respecto a la fuente luminosa. Esto, que era incompatible con la física clásica, obligo a sacrificar los conceptos de espacio y tiempo que pasaron de ser absolutos a ser relativos a cada observador. Es decir observadores distintos medirían espacios y tiempos distintos en función de sus distintas velocidades. Ello trajo dos consecuencias inmediatas que cambiarían nuestra concepción del espacio y el tiempo y que aparentemente son incompatibles con el sentido común.

2) Sobre las consecuencias de dicha constancia.

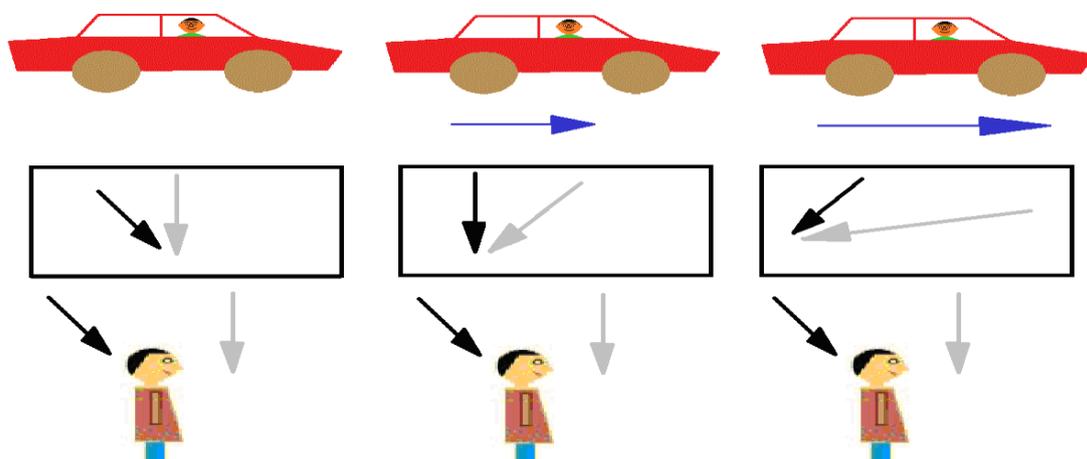
Son las siguientes; la dilatación del tiempo y la contracción de longitudes. Un observador considerado en reposo verá que el reloj de otro observador en movimiento retrasa respecto al suyo, y que la longitud del observador móvil se vera contraída en el sentido de su movimiento. Como se verá mas adelante este último punto solo es visible cuando el observador móvil se desplaza transversalmente respecto al observador fijo. No así cuando este se acerca ó se aleja del observador como se verá más adelante.

3) El efecto Doppler y la relatividad.

Como es sabido, un observador que se desplaza respecto a una fuente de ondas observará una frecuencia diferente de la observada por otro en reposo. En la figura del cohete, el observador situado en **B** observará que las ondas generadas por el cohete se “acortan”, es decir aumentan su frecuencia respecto a las generadas por el altavoz fijo. Para el observador situado en **A** ocurrirá lo contrario. En el caso de la luz esto se traducirá en que la esta aparecerá corrida hacia el azul cuando observador y fuente se acercan y corrida hacia el rojo cuando se alejan. Considerando también la dilatación temporal, dado que ambos observadores medirán tiempos distintos, también medirán frecuencias distintas (puesto que la frecuencia es inversamente proporcional al tiempo). Para el observador en reposo el tiempo del observador móvil transcurre más despacio que el suyo, esto implica que cualquier señal luminosa emitida por este aparecerá corrida hacia el rojo a efectos del observador en reposo cuando el movimiento del cohete sea transversal al propio observador.

4) El efecto de lluvia delantera.

Supongamos un día lluvioso y sin viento. Dos observadores situados uno de ellos en la calle (C) y el otro en un vehículo (V). Sí ambos se encontraran en reposo (Figura izquierda), ambos verán que la lluvia cae perfectamente vertical (flecha gris). A medida que va incrementándose la velocidad del automóvil el observador (V) verá que la lluvia le cae con una posición cada vez más horizontal (figuras central y derecha). De tal manera que verá que a cierta velocidad prácticamente toda la lluvia incide sobre la luneta delantera y apenas nada sobre la trasera. La lluvia describirá un ángulo distinto del vertical y más próximo al horizontal a medida que va incrementándose la velocidad del vehículo. Para el observador (C), en la parte inferior de la imagen, la lluvia siempre caerá verticalmente.

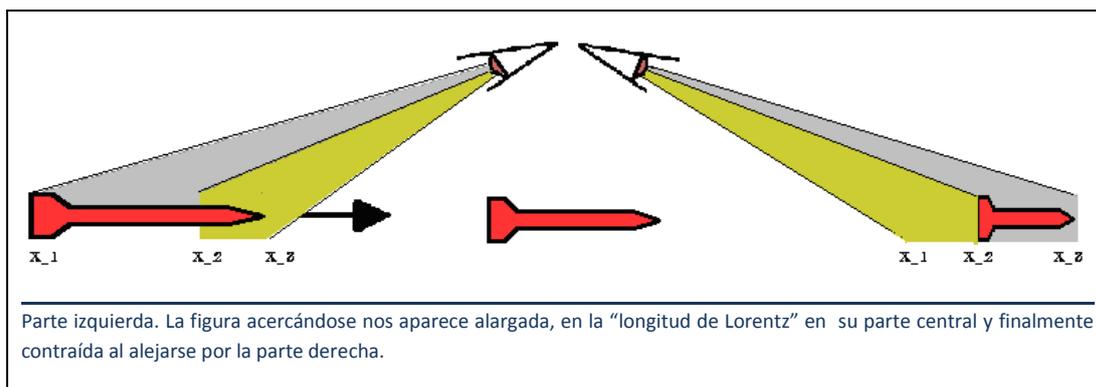


De esta manera, si el vehículo se desplaza a una velocidad suficientemente elevada los ocupantes del vehículo tendrán la sensación de que casi toda la lluvia les cae por la luneta delantera, incluso si emanara desde atrás (flecha negra). Como veremos más adelante, un observador que se desplazara a velocidades relativistas observaría un efecto parecido con la luz.

5) ¿vemos un objeto de la misma longitud según se acerca o se aleja?

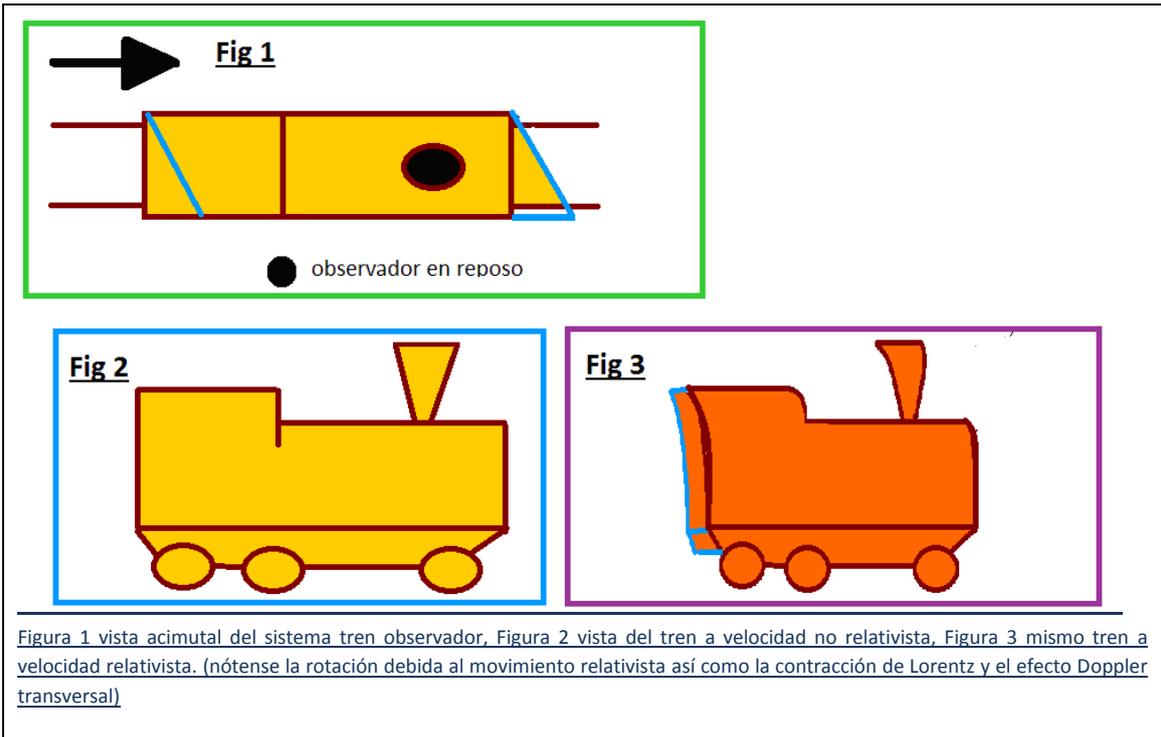
Supongamos un objeto que se desplaza hacia nosotros. Dos fotones irradiados simultáneamente desde los puntos X_1 , X_2 recorrerán espacios distintos y por tanto tardarán tiempos distintos. Dado que $t_1 > t_2$ siendo ambos tiempos los tiempos respectivos que la luz emplea en llegar al observador desde X_1 y X_2 . Al observador le llegará simultáneamente la luz irradiada desde X_1 simultáneamente con la irradiada desde X_3 de manera que verá el objeto alargado en una longitud $\Delta L = Vt_1$ Siendo ΔL el espacio recorrido, V la velocidad del objeto y t_1 el tiempo transcurrido. Al alcanzar la vertical, el objeto se desplaza transversalmente y lo veremos en la longitud que corresponde a la longitud de Lorentz (que es menor que la longitud que veríamos del objeto en reposo).

Cuando el objeto se aleja (parte dcha. De la figura) ocurrirá exactamente lo contrario. En este caso el objeto aparecerá contraído en la dirección de su movimiento.



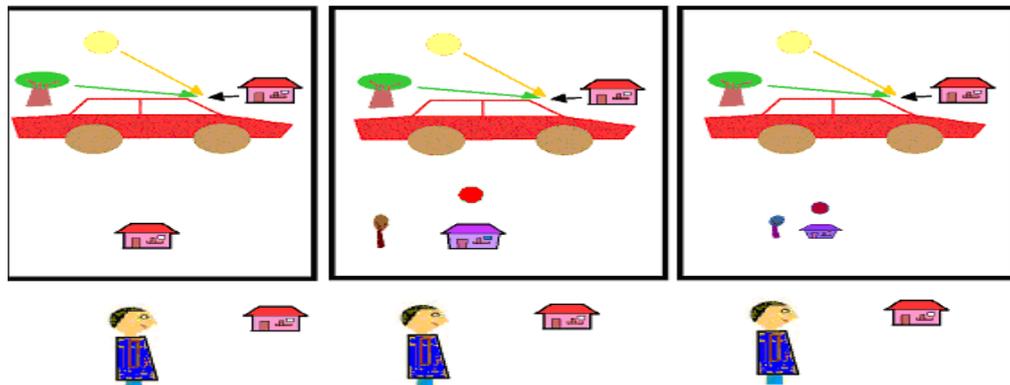
6) Rotación de Terrell-Penrose (El "giro" del movimiento).

Es una consecuencia del anterior fenómeno. La luz que vemos procedente de distintas partes de un determinado objeto en movimiento, por ejemplo de una locomotora, no tarda el mismo tiempo en alcanzarnos, ya que recorre distintas distancias para llegar a nosotros. La que haya sido irradiada desde puntos más alejados a nosotros tardará más en llegarnos por lo que el movimiento de dichos puntos nos llegará retardado respecto a la irradiada desde puntos más próximos. Resumiendo, vemos en "diferido", cuanto más alejado en el espacio, más alejado en el tiempo. Veamos nuestra locomotora. (Figura 1 vista desde una posición acimutal) junto a un observador en reposo, (figura 2) la imagen que ve este observador para un objeto en reposo ó a velocidad no relativista. Conviene considerar que sí bien va a haber una diferencia de tiempos, el movimiento de la locomotora en esa diferencia de tiempos es despreciable por lo que no apreciaremos desplazamiento alguno. A una velocidad relativista (figura 3) aun siendo esta menor a la de la luz, la locomotora se habrá desplazado una distancia considerable que podremos ver (marcada en azul). Por tanto, veremos nuestra locomotora desplazada lateralmente en esa distancia.



7) ¿Podríamos ver a la vez la luz de la entrada del túnel y la de la salida sin mirar hacia atrás?

En la figura inferior representamos un observador que tiene ante sí una casita y tras de sí el sol y un árbol. La imagen observada por un observador no relativista (figura izquierda) será prácticamente igual que la observada en reposo. A medida que aumenta la velocidad de este, llegado a velocidades relativistas empezara a notar los fenómenos relativos a la velocidad de la luz. La casa (situada delante del vehículo) irá apareciendo cada vez más deformada y corrida al azul. Los objetos situados tras el vehículo, que no aparecen en la primera imagen, a medida que el vehículo vaya aumentando su velocidad irá aumentando su ángulo de visión (figuras central y derecha) con lo que el sol y después el árbol (a pesar de permanecer detrás) llegaran a aparecer en el campo de visión del conductor, siempre deformados y corridos hacia el rojo. En la parte central de la figura representamos una imagen de como vería el conductor del vehículo las figuras de su entorno. A velocidad no relativista (izquierda) y a velocidades relativistas (centro y derecha). Observar que el árbol y el sol que no aparecen en la primera figura lo harían totalmente deformados y enrojecidos en las figuras central y derecha.



Para entender este fenómeno partiremos del mencionado “efecto de lluvia delantera”. Como se vio entonces, un observador que se desplaza a una velocidad considerable observara que casi toda la lluvia incide sobre su luneta delantera a pesar de que esta emanara desde detrás. Si bien a diferencia de la lluvia, la luz viene irradiada desde un amplio abanico de direcciones. Este observador, al igual que en el ejemplo anterior con la lluvia, observara que su ángulo de visión irá aumentando a medida que aumente su velocidad. Dicho ángulo aumentará por igual en todas las direcciones y dará lugar a una aberración esférica bastante parecida a la que obtiene un fotógrafo con un objetivo de los llamados “ojo de pez”. Las imágenes le aparecerán concentradas en un círculo que se irá haciendo más estrecho cuanto mas alta sea su velocidad. Este aparecerá azulado en el centro y enrojecido en los extremos por el efecto Doppler. Observadores distintos observaran ángulos distintos en función de sus distintas velocidades. Esta aberración no se observa a velocidades normales debido a lo reducido de estas respecto a “*c*” aunque si había sido observada por astrónomos del S. XVIII. En la figura superior izquierda el conductor del vehículo verá sólo la luz procedente de objetos situados ante el en su forma y colores propios ya que los ángulos de incidencia de la luz de los objetos (casa, sol y árbol) coincidirán prácticamente con los del observador en reposo. El mismo conductor situado en el mismo punto pero a velocidades relativistas verá la luz procedente de objetos situados incluso detrás suyo deformados y corridos al rojo y al azul. (Figuras central y derecha). El conductor del vehículo vera ampliado su campo de visión en todas direcciones, llegando a ver ante si objetos situados tras él sin necesidad de un espejo. Curiosamente el objeto que viaja a velocidades muy cercanas a “*c*” tendrá siempre la sombra detrás ya que su luz siempre se concentrará delante.

Debido al efecto Doppler, llegado a velocidades relativísticas, la luz visible dejaría de serlo. Tanto la luz de los objetos a los que nos acercamos como la de aquellos de los que nos distanciamos escaparían del rango de frecuencias visibles. Ello no significa que no veríamos nada, ya que otras radiaciones invisibles en reposo nos serían visibles. En un viaje de estas características debiéramos disponer de un poderoso escudo anti radiación para protegernos de las peligrosas radiaciones procedentes de la parte posterior en el sentido de la marcha. A la velocidad de la luz, inalcanzable de acuerdo con la dinámica relativista toda la luz nos vendría con una frecuencia que tendería a valor cero cuando los objetos se alejan de nosotros y a infinito en el caso contrario. Esto a su vez resulta incomprensible ya que implicaría una energía infinita, lo cual obviamente resulta imposible.

Firmado:
inakigarber

Fuentes Bibliografía

Carl Sagan “Cosmos; Viajes a través del espacio y el tiempo”
<http://singularidad.wordpress.com/tag/relatividad-especial/>
El tamiz relatividad sin formulas
<http://forum.lawebdefisica.com/activity.php>
<http://forum.lawebdefisica.com/>