

**Diagramas espacio-tiempo
Diagramas de Minkowski**

**IES La Magdalena.
Avilés. Asturias**

(Referencia: Construyendo la Relatividad. Manuel F. Alonso Sánchez y Vicent F. Soler Selva)

Una herramienta muy útil para entender algunos de los conceptos y consecuencias de la Teoría de la Relatividad Especial (TER) son los llamados **diagramas de Minkowski**. La versión bidimensional de los mismos nos ayuda, al situarnos en sólo dos dimensiones, a entender conceptos que podemos después extrapolar al continuo espacio-tiempo tetradimensional. En estos diagramas en el eje de ordenadas se sitúa el tiempo (t) y en el de abscisas la posición espacial (x), aunque normalmente por un problema de escala se multiplica el tiempo por la velocidad de la luz (c). De esta manera en el eje y representamos el espacio recorrido por la luz en el tiempo considerado (ya que espacio recorrido y tiempo empleado son proporcionales: $x = c t$).

La *historia* de un punto (dónde está y en qué instante) quedará entonces registrada por una línea en ese diagrama. Por ejemplo, algo que permanezca estático se indicará con una línea paralela al eje de los tiempos. Si se mueve, esa línea se irá inclinando a derecha o izquierda de la vertical (hacia adelante o hacia atrás), tanto más cuanto mayor sea su velocidad.

Un cuerpo que se mueva a la velocidad de la luz se situará a lo largo de una línea cuya pendiente sean 45° (punto verde, Fig 1). Cualquier velocidad inferior a la luz vendrá representada por una línea de menor inclinación respecto de la vertical (punto azul). Las líneas que representen movimientos con velocidades superiores a las de la luz (punto rojo) no son posibles según la TER.

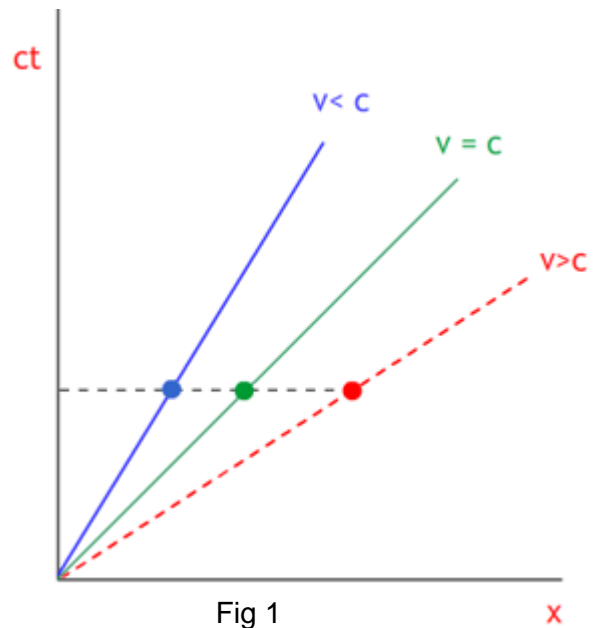


Fig 1

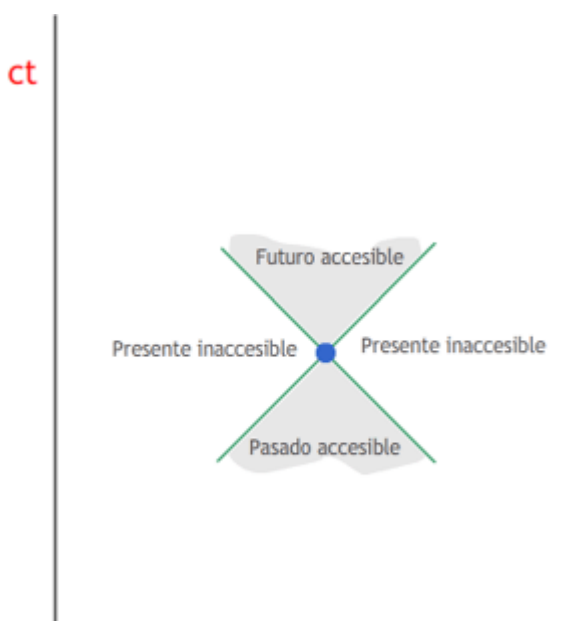


Fig 2

El universo accesible para un suceso quedará entonces en el interior de las dos líneas (un cono en un espacio tridimensional) que representan la velocidad de la luz hacia arriba del suceso y hacia abajo del mismo (Fig 2). El acceso al sector superior implica viajar en el sentido positivo del eje de ordenadas (tiempo creciente), es decir, representa el **futuro accesible**, ya que **sucesos contenidos en este área pueden estar relacionados causalmente**. Esto es, uno (el que suceda antes, por ejemplo la aplicación de una fuerza) puede ser causa del otro (el que suceda después, aparición de una aceleración). Un punto situado en el exterior del sector señalado, nunca será accesible, Es decir, **no puede relacionarse causalmente con otro situado en el interior del cono, no puede existir ningún tipo de interacción entre ambos**, puesto que implicaría viajar a velocidades superiores a las de la luz. Obsérvese que también es posible (al menos teóricamente) viajar hacia el pasado (tiempo decreciente), siempre que lo hagamos a una velocidad inferior a la de la luz. Por eso el sector que agrupa todos los posibles viajes se denomina **pasado accesible**.

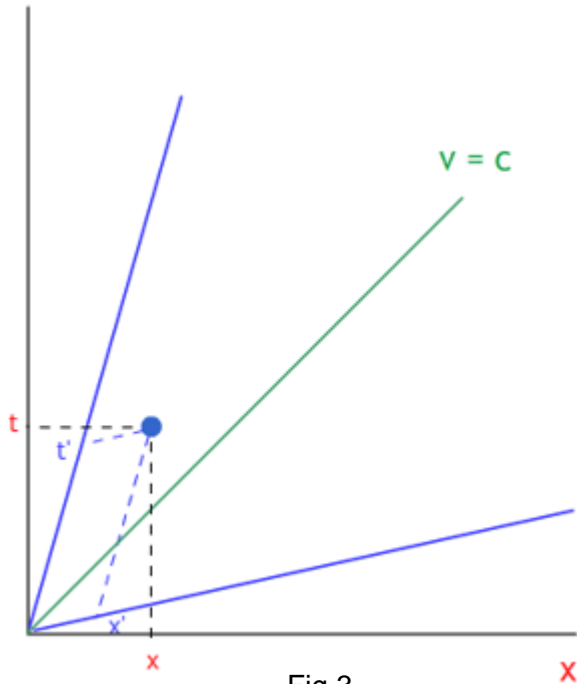


Fig 3

Los diagramas de Minkowski permiten deducir también qué es lo que pasa en dos sistemas de referencia que se estén moviendo con velocidad constante uno respecto del otro.

El origen de un sistema que se desplace hacia la derecha con determinada velocidad tendría una historia descrita por la línea azul situada por encima de la que representa $v=c$ (Fig 3)). Como la velocidad de la luz debería de ser exactamente igual a la de un observador en reposo, el eje de abscisas debería de ser simétrico al de ordenadas respecto a la línea $v=c$. Luego ambos ejes formarían una especie de V cuya bisectriz sería la línea $v=c$ y podríamos obtener el valor de x y t para cada sistema proyectando la posición del punto sobre ambos ejes.

En el siguiente diagrama (Fig 4) se representan dos sucesos. El suceso F representa la fecundación de una persona y N el nacimiento. Como se ve el nacimiento no se produce en el mismo lugar en el que ha tenido lugar la fecundación, ya que ha habido un desplazamiento (a velocidad siempre inferior a la de la luz, desplazamiento en el interior del cono de luz). La fecundación es la causa del nacimiento y, en consecuencia, siempre debe ser anterior a éste (**Principio de Causalidad: la causa siempre precede al efecto**).

La primera cosa que llama la atención es que el intervalo temporal (t_N-t_F) para el sistema en reposo y ($t'_N-t'_F$) para el sistema en movimiento, no es el mismo. Es menor para el sistema en movimiento. Otro tanto se puede argumentar para los intervalos espaciales (x_N-x_F) y ($x'_N-x'_F$). Esto es, exactamente, lo que predice la TER. **El tiempo transcurre más lentamente para un observador en movimiento y las longitudes se acortan.**

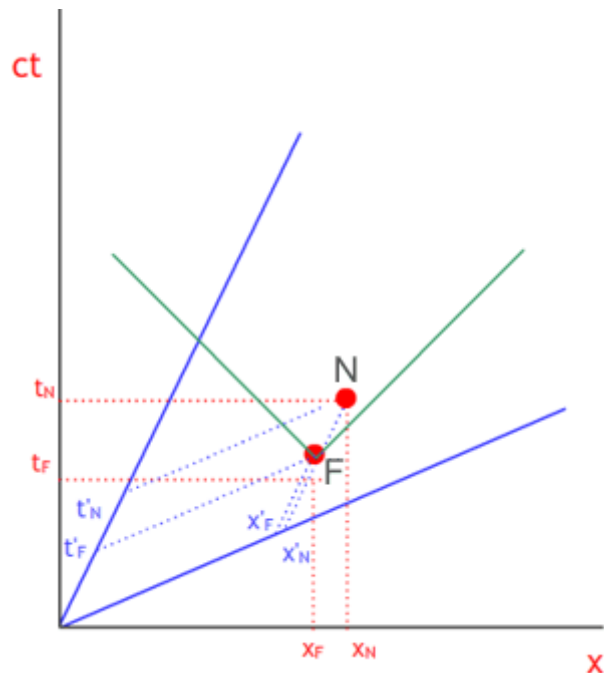


Fig 4

Podemos plantear ahora una pregunta inquietante: **¿puede existir un sistema en el cual N (el nacimiento de una persona) pueda ser anterior a F (su fecundación)?** De ser así se burlaría el Principio de Causalidad y se llegaría a un absurdo.

La respuesta es negativa, siempre que se cumplan los postulados de la TER. Para que fuera posible debería de ser posible viajar a velocidades superiores a las de la luz.

Un viaje de este tipo está representado en el diagrama de la figura 5, donde el suceso representado por el segundo punto rojo se ha desplazado fuera del cono de luz ($v > c$). En este caso, y en el sistema en movimiento, el nacimiento (¡increíblemente!) es anterior a la fecundación, el Principio de Causalidad se viola.

Si se pudiera viajar a velocidades superiores a las de la luz se violaría el Principio de Causalidad y, entonces, serían posibles situaciones absurdas en las que alguien viaja al pasado y mata a su padre, con lo cual se imposibilitaría su propio nacimiento. O que (como se cuenta en una película bastante popular) en el viaje al pasado conozcas a la que después sería tu madre, te enamores y te cases con ella. ¿Es posible que una misma persona sea su propio padre?

Hace poco los neutrinos saltaron a la prensa como protagonistas de supuestos viajes a velocidades superiores a las de la luz. La conmoción en el mundo científico fue extraordinaria. Ahora podemos entender por qué. Una física en la que no se respete el Principio de Causalidad no parece que tenga muchos visos de ser viable. La grieta sería demasiado profunda, el edificio se derrumbaría como un castillo de naipes. Afortunadamente las aguas volvieron a su cauce al comprobar que un mal contacto en uno de los ordenadores había provocado un error en las mediciones.

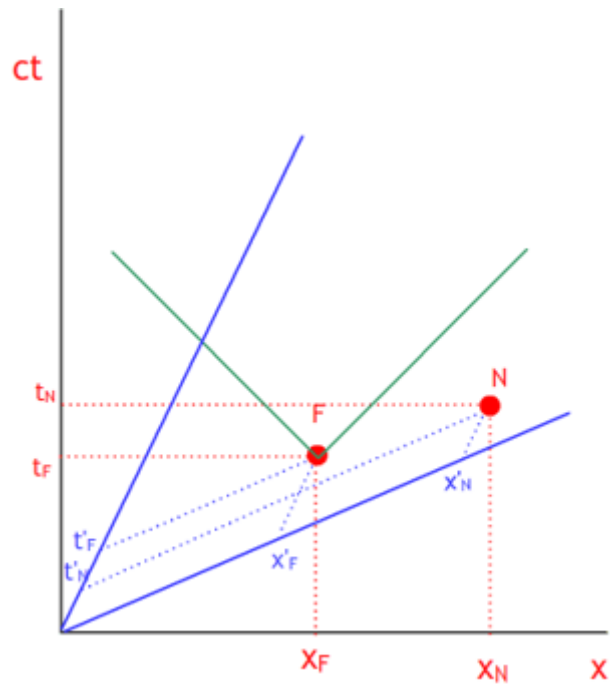


Fig 5