



# Relatividad General

El poder de la mente es infinito, tanto que sin ella no podríamos haber llegado a donde hemos llegado pese a la ayuda de las matemáticas y de la física.

Una de las dos teorías que explican el universo (la Mecánica Relativista y Teoría de la Relatividad) seguramente no podría haberse desarrollado sin el poder de la mente humana y de la curiosidad, independientemente de la cantidad de artimañas físicas y conocimientos matemáticos que se hubiesen utilizado.

Todo empezó cuando Albert Einstein -padre de esta teoría- se planteó uno de sus conocidos Gedankenexperiment (literalmente “experimentos conducidos en los pensamientos”), lo que llamamos experimentos mentales. En el experimento mental que dio paso a la Relatividad se planteó qué le ocurriría a una manzana que estuviese suelta en el interior de un ascensor que cayese con una aceleración constante en un trayecto infinito. Es fácil imaginar lo que imaginó Einstein cuando se lo planteó: si viajase en el ascensor vería la manzana flotando frente a él. Parecería que se hubiese anulado la gravedad. Pero, si estuviese en el exterior del ascensor vería moverse la manzana (independientemente de la velocidad a la que él se moviese con respecto al ascensor que cae). Ese es el fundamento de los aviones de gravedad 0: caen en una parábola que tiene una aceleración igual que la gravedad, por lo que en el interior del avión parece que se está en gravedad cero. Desde el exterior simplemente vemos cómo se precipitan en un picado controlado.

Dejadme que os cuente una curiosidad que no conoce mucha gente: la ausencia de gravedad que hay en la ISS (la estación espacial), así como en el resto de satélites artificiales, no se debe a que se encuentran el “espacio exterior”, sino a que están cayendo constantemente hacia la Tierra mientras orbitan a su alrededor con una aceleración constante igual a la que la Tierra los somete a esa altura.

El hecho de que veamos el movimiento de la manzana de nuestro ascensor de diferente forma dependiendo de dónde nos encontremos fue el principio de la gran teoría.

Einstein intentó hallar unas fórmulas que fuesen independientes del sistema de referencia ya que, como ese experimento mental había demostrado, los resultados que arrojan las fórmulas Newtonianas varían según el sistema de referencia: en el caso del sistema de referencia 1 (situado dentro del ascensor), al ir la aceleración de la gravedad en la misma dirección y sentido que la aceleración del ascensor, ambas se anulan y la velocidad de la manzana será cero. Pero si nos encontramos en el sistema de referencia 2, (por ejemplo, en otro ascensor que esté subiendo), veríamos que las velocidades de ambos sistemas se suman, por lo que la velocidad de la manzana será la suma de la velocidad del ascensor que cae más la del ascensor que sube.

Entonces, Einstein pasó de los ascensores a los trenes y a los andenes. Se puso en la piel de una persona situada en el tren y otra en el andén. Metámonos en su mente...

Einstein imaginó encontrarse dentro de un tren en movimiento. El tren pasa por delante de un andén sin aminorar la marcha. En ese momento, Einstein se asoma a la ventanilla y tira una piedra sin darle impulso alguno (y prescindiendo de la resistencia del aire). Einstein ve como la piedra cae a plomo, es decir, en línea recta.

Pero un observador que se encontrase en el andén vería que la piedra cae dibujando una parábola. Es decir, ¡no varía el tiempo que tarda en llegar al suelo pero sí que varía el espacio que recorre! Ya desde el principio suena un poco raro, ¿verdad?. Con esto Einstein desecha los conceptos de posición y espacio. Asegura que son completamente azarosos o RELATIVOS. Es decir, se ha cargado de un plumazo la mecánica clásica (que se define como la descripción de cómo varía la posición de cuerpos en el espacio con el paso del tiempo).

Con esto nos damos cuenta de que (y uso palabras del padre de esta teoría): “Respecto a un sistema de coordenadas rígidamente unido al vagón, la piedra describe una recta; respecto a un sistema de coordenadas rígidamente unido al suelo, describe una parábola. En este ejemplo se ve claro que no existe ninguna trayectoria propiamente dicha, sino sólo trayectorias con relación a un sistema de referencia determinado”.

Según parece por ahora, lo único que no varía entre el espacio, el sistema de coordenadas y el tiempo (las tres cosas con las que se describe cualquier suceso físico en el universo) es este último; y por tanto, en él (o sus derivados como velocidad o aceleración) debería estar el secreto.

Para estudiar qué pasa con el tiempo, Einstein cambió la piedra por un reloj, y le dio uno al viajero del tren y otro al viajero que espera en el andén. Si hacemos un símil con la piedra, el tiempo que marca cada uno de los relojes -que consideraremos idénticos y perfectamente precisos al igual que espacio que recorría la misma piedra- sólo se refiere al



sistema de referencia al que se encuentra anclado. Por tanto no tienen porqué coincidir los tiempos que marca el reloj del viajero del tren y de la persona que espera en el andén. Ocurría lo mismo con la distancia que recorría que recorría la piedra: no era igual. Parece lógico pensar que algo tiene que cambiar entre los dos sistemas, ¿verdad? Y ese “algo” es el tiempo. Cuando hablo de tiempo me refiero al tiempo que transcurre entre el Tic y el Tac de ambos relojes, independientes uno de otro. Por lo tanto, podríamos finalizar diciendo que el tiempo que dura un segundo en un sistema de referencia 1 es distinto al de un sistema de referencia 2, con la condición de que ambos sistemas de referencia difieran en la velocidad (que en el fondo es diferir en el espacio variable que se recorre en un tiempo invariable desde uno de los dos sistemas de referencia).

Dos párrafos atrás habíamos dicho que debía ser el tiempo (o sus derivados) lo invariable entre los dos sistemas. Hemos demostrado que el tiempo si varía entre ambos sistemas en el párrafo anterior, quedando sólo los derivados del tiempo (aceleración o velocidad) como posibles constantes entre ambos sistemas.

Fácilmente podemos llegar a la conclusión de que la aceleración se considera variable porque depende de la velocidad y del tiempo. Y, como éste último es variable, la aceleración también lo es. Esto lo demostró Einstein con otro de sus geniales experimentos mentales, pero éste es sumamente complicado y creo que con la razón física queda entendido.

Finalmente Einstein hizo un último experimento mental tratando de comprobar si los sistemas de referencia independientes eran también invariantes entre sí (pese a que varíe lo que ocurre en su interior). Para ello, analizó cada uno de los tres ejes (X, Y, Z) de un sistema de referencia. Imaginó cómo se vería desde un andén un cuervo volando en paralelo al tren con velocidad constante (aceleración nula). Visto desde el tren, su movimiento también será paralelo. Por lo tanto, aunque las velocidades varíen desde ambos puntos de vista, los ejes de coordenadas mantienen las relaciones entre ellos (es decir, si el cuervo ascendiese a  $45^\circ$  se vería igual y con el mismo ángulo desde el andén y desde el tren). Esto implica que, como no hay variación en el sistema de referencia, lo único que varía entre ambos sistemas es la velocidad con que se mueve uno respecto al otro.

Ya se tenía un planteamiento claro. Ahora había que unificar los infinitos sistemas de referencia posibles en uno que solo tuviese una variable: la velocidad. Y es que es lo único que no varía entre los infinitos sistemas que se pretenden unir.

Ahora Einstein se imaginó viajando encima de un fotón y halló que la única velocidad constante es la de la luz. Su velocidad no se puede sumar a la de su sistema de referencia (lo que implica que si al ir en un tren a 200 km/h disparas un haz de luz, la velocidad de dicho haz no será la de la luz mas los 200 km/h del tren; será simplemente la velocidad de la luz). Aún hoy seguimos sin saber cómo llegó Einstein a esa deducción. A los genios se les llama genios por algo. Además luego lo demostró matemáticamente con los datos extraídos de su experimento.

Hoy nos parece lógico echar por tierra toda la física Newtoniana pero tuvieron que pasar 218 años desde que en 1687 Newton publicase su famosísimo “Philosophiæ naturalis principia mathematica” hasta que en 1905 Einstein publicase su trabajo sobre la relatividad genera, que luego ampliaría diez años más tarde en la relatividad especial. La diferencia entre los dos trabajos de Einstein es que en el primero de ellos se trata la física del movimiento de los cuerpos en ausencia de fuerzas gravitatorias, y en el segundo se añade la gravedad (resultó que a esta fuerza había que darle de comer a parte... y en esas seguimos).

Aparentemente, la mecánica relativista es completamente diferente a la mecánica clásica; pero cuando analizamos la relatividad general a velocidades bajas o la relatividad especial bajo efectos gravitacionales poco intensos obtenemos las mismas fórmulas que Newton planteó dos siglos antes. Eso es pura magia. Magia de las matemáticas, de la física y, sobre todo, del ingenio humano.

Ahora, apartándome de la física me planteo la siguiente reflexión: quién tiene más mérito, ¿Newton por llegar a aproximaciones asombrosamente precisas de la relatividad general en condiciones humanamente posibles partiendo desde cero -y con ello me refiero a tener que elaborar otro sistema de cálculo completamente nuevo-, o Einstein por ir intelectualmente más allá de las condiciones humanas con todos los artefactos matemáticos a los que tenía acceso? Y por otra parte, ¿es comparable? Yo me limito a pensar que ambos no sólo fueron grandes genios de su tiempo, sino que son grandes genios de toda la Historia.

Con todo esto, Einstein elaboró el concepto de Espacio-Tiempo. Se define como entidad geométrica en la cual se desarrollan todos los eventos físicos del Universo, de acuerdo con la teoría de la relatividad y otras teorías.

Este espacio-tiempo o tejido espacio-temporal es una especie de malla donde espacio y tiempo están intrínsecamente unidos. La más mínima variación de uno de ellos implica la instantánea variación del otro. Este tejido tiene por tanto N dimensiones espaciales, más una dimensión temporal (no tienen por qué ser necesariamente tres espaciales).



Tiene la peculiar característica de ser elástico con cierta tensión y con una determinada cantidad de materia. (Esto todavía aún se está debatiendo, aunque todo apunta a que sí que tiene cierta cantidad material.) Si hacemos un corte del tejido espacio temporal como si fuese un folio obtendríamos una cama elástica perfecta. Muchas veces utilizaremos esta analogía para explicar fenómenos ya que es elástica y tiene cierta tensión.

La analogía tridimensional más parecida al tejido real es el de una piscina, siendo sus paredes el "límite" (físico y existente o no) del universo, y siendo el agua todo el tejido espacio-temporal.

Esas características del espacio-tiempo arrojan muchas posibilidades, sobre todo el hecho de que no sea rígido y que se pueda moldear según la velocidad, o utilizando un campo gravitatorio intenso. Esto implica que se podría moldear de forma que el espacio-tiempo se curvase de cierto modo para volver hacia el pasado. Pero eso aún es pura fantasía. No está nada claro cómo se tendría que doblar ya que no se conocen siquiera las dimensiones de las que consta. De todas formas, como posibilidad está ahí. Esto implica varias paradojas que veremos al final de la presentación de la teoría.

Esta dilatación se puede producir por la velocidad -lo que implica que a más velocidad, menor duración del tiempo aparente del sistema de referencia 1 respecto al 2- o por un intenso campo gravitatorio -lo que implica que en un sistema de referencia cercano a un gran campo gravitatorio el tiempo pasa más despacio aparentemente desde un sistema de referencia ausente de ese campo gravitatorio.

Buscando la razón de esto podremos comprender cómo puede variar el tiempo y cómo se comporta el espacio-tiempo (de una forma poco ortodoxa, pero válida entre amigos). La razón de la distorsión temporal por la gravedad es que si imaginamos el espacio-tiempo como una cama elástica cuadrículada (con todos sus cuadrados de igual tamaño) y ponemos una gran masa en el centro, los cuadros más cercanos a dicha masa se estirarán. Imaginemos que atravesar un cuadrado sin estirar nos cuesta un minuto. Uno estirado el doble nos debería costar dos minutos. Hemos aumentado al doble el tiempo. Ahora recordemos que la variación de un parámetro del espacio-tiempo implica la inmediata variación del otro; es decir, que si aumentamos dos veces el tiempo, nos vemos obligados a aumentar dos veces el espacio.

Ahora olvida lo que estás viendo y te impide comprender lo que quiero decir. Olvida la cama elástica vista desde arriba como si fueses un dios omnisciente. Métete en la piel de los que están encima de los cuadraditos estirados. Si se dobla el espacio y el tiempo, desde dentro no se puede notar (porque TODO espacio y tiempo a tu alrededor se multiplica por dos). Ahora, como TODO se multiplica por dos, podemos dividir por dos y dejarlo todo como estaba antes. Nada varía en el interior del sistema de referencia de los cuadraditos estirados desde el punto de vista de quienes se encuentran dentro de él.

Ahora sí. Vuelve a tu visión omnisciente. Eres un observador que no estás sometido al estiramiento de los cuadraditos y ves muy claro lo que varía: el espacio. Como el espacio, la velocidad y el tiempo están intrínsecamente relacionados, todo varía en el sistema de referencia estirado, desde el punto de vista del sistema de referencia "normal". Los objetos son más grandes y el tiempo parece que para ellos, transcurre más despacio que para ti, por lo que su velocidad es menor, etc...

Las diferencias de tiempo, como hemos visto, sólo se pueden apreciar desde dos sistemas de referencia diferentes.

Así, sumando la velocidad de rotación de La Tierra alrededor del Sol y la velocidad de rotación del sistema solar alrededor de la Vía Láctea, y teniendo en cuenta el campo gravitatorio que crea el Sol frente a la Tierra, un observador ausente de velocidad y de gravedad vería que un segundo terrestre dura 1,000009827 veces más que un segundo en su lugar ausente de velocidad y de fuerza gravitatoria. Esto supone una variación de unos 5 minutos en un año. Por tanto, ese observador podría afirmar que viajamos 5 minutos a su futuro cada año.

Otra de las consecuencias de un espacio-tiempo elástico son las ondas gravitacionales. Estas ondas son -en nuestra analogía de la piscina- las olas que se forman al tirar una piedra. La detección de estas olas podría confirmar de nuevo la teoría de la relatividad general (que se ha confirmado ya en varias ocasiones). La detección es muy curiosa, ya que implica la deformación del espacio. Al entender cómo se intentan detectar, entenderemos un poco más qué es ese tejido tan extraño en el que estamos inmersos y del que propiamente formamos parte. Esa deformación del espacio-tiempo se está intentando detectar en el LIGO: Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Observatorio de interferometría láser de ondas de gravedad). El observatorio consta de un rayo láser que impacta contra una lente que divide ese rayo en dos rayos perpendiculares, que recorren una distancia exactamente igual de cuatro kilómetros (con una precisión de milbillonésimas de nanómetros) dentro de un túnel de alto vacío hasta llegar a un espejo, en el que rebotan, y vuelven a encontrarse en un mismo punto exacto a la vez, neutralizándose así un rayo con otro, y no escapando nada de luz. En el momento que una onda gravitacional atraviesa el complejo, la distancia de los túneles

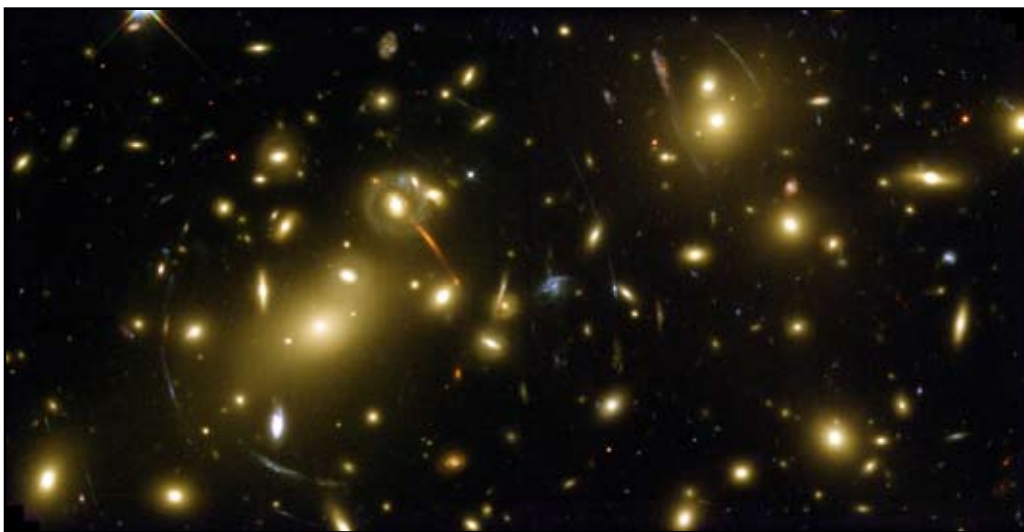
variará (ya que varía el espacio) y por tanto, los rayos de luz no llegarán a la vez al punto de encuentro (ya que uno de los dos recorrerá más distancia que el otro) y por tanto no se neutralizarán, escapando consecuentemente un rayo de luz que será detectado por el detector de fotones que aún espera impaciente a detectar algo.

Con estas dos analogías nos damos cuenta que no solo vivimos o nadamos entre el tejido espacio-temporal, sino que somos parte de ese tejido.

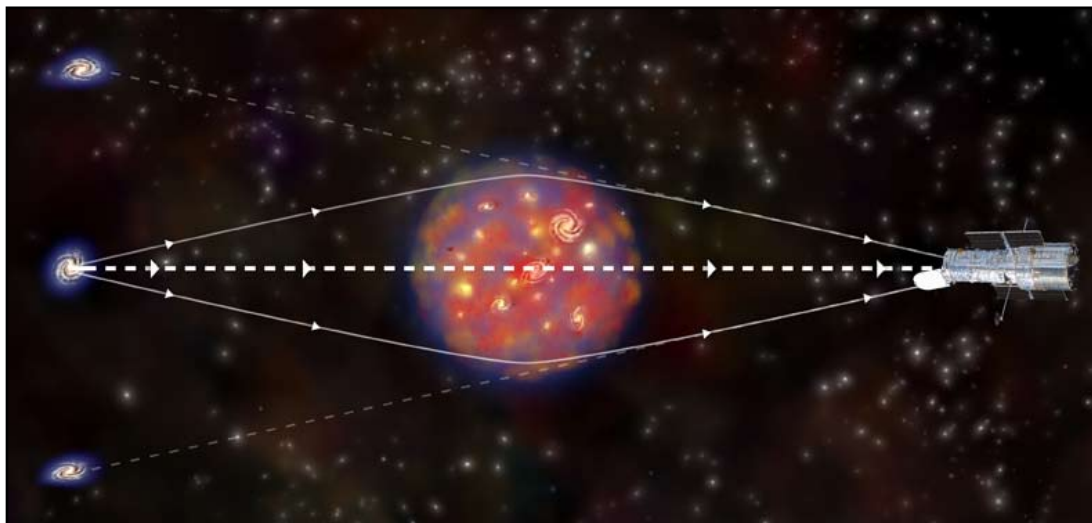
Antes hemos hablado de la discusión que existe sobre la existencia de masa en el tejido espacio-temporal. Los defensores de la existencia de la masa alegan que si hay una tensión, tiene que haber obligatoriamente una masa, ya que si no, no habría nada que tensar. Los defensores de la no existencia de la masa alegan que, al igual que un surfista que se desliza oblicuamente a una ola, puede ser impulsado hacia adelante y adquirir más velocidad, un fotón debería hacerlo también si el tuviese masa, superando así la velocidad de la luz e incumpliendo el principio más básico de la relatividad: la velocidad de la luz en el vacío es constante y es de 299.792.458 m/s.

Ambas posturas están en lo cierto desde un primer planeamiento y ambas pueden apoyar matemáticamente su teoría y desmentir la otra. El hecho de que se crea más en la existencia de masa que en su no existencia se debe a que, matemáticamente, es más sencillo defender su existencia que su ausencia (ésta última implica ciertas casualidades y muchas probabilidades, ciertamente muy improbables, por cierto). La navaja de Ockham ha hablado. Y muy ahora se tiene por cierto la existencia de masa del tejidos espacio-temporal.

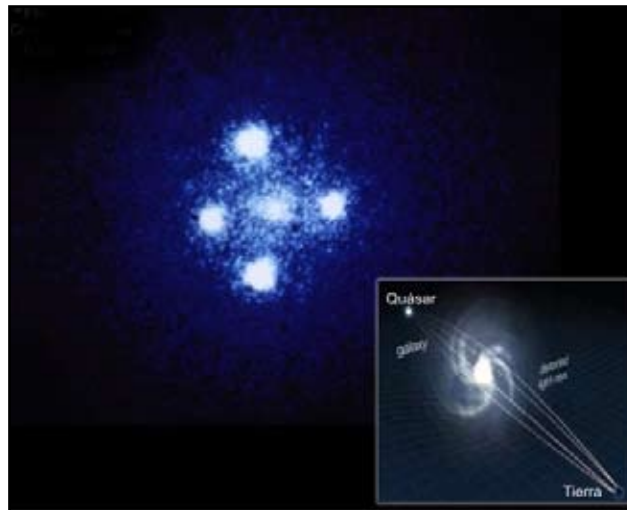
Volviendo a la elasticidad del espacio-tiempo, ésta nos permite observar un suceso muy curioso: la lente gravitacional.



Estas lentes gravitacionales se forman cuando la luz procedente de objetos distantes y brillantes, como cuántares, se curva alrededor de un objeto masivo (como una galaxia masiva) situado entre el objeto emisor y el receptor.



Esta curvatura se produce porque un objeto masivo es capaz de curvar el espacio-tiempo al igual que una sandía curvaría una cama elástica si la dejásemos en el centro. Esta curvatura obliga a los fotones a tomar una trayectoria circular en vez de una trayectoria recta, lo que hace que alrededor del objeto masivo que provoca la curvatura aparezca una especie de lente, o se vea el objeto repetido varias veces (como la conocida cruz de Einstein):



La existencia de estas lentes gravitacionales son muy importantes en astronomía. Se puede observar la luz de objetos muy muy lejanos amplificada a modo de lupa y, gracias a ellas, hemos conseguido descubrir el cúmulo de galaxias más lejano hasta el momento: Abell 2218 que se formó cuando el universo tenía el 5% de la edad actual. Estudiando la lente gravitacional de dicho cúmulo se encontró otra galaxia, que ha sido la más lejana conocida, hasta hace unos meses.

Gracias a las lentes gravitacionales también hemos sido capaces de observar varios exoplanetas de masa similar a la terrestre (de 4 a 6). Es el segundo método que más exoplanetas de esa masa tan “pequeña” ha encontrado. Cuando pasa el planeta detrás de la estrella (que ha de ser de un cierto tipo para que el brillo no anule por completo la lente) podemos ver una microlente gravitacional alrededor de la estrella, lo que indica la presencia del planeta. Asombrosamente, sabiendo la masa de la estrella y viendo la lente gravitacional que forma, podemos obtener la masa del planeta y a la distancia a la que se encuentra.

Cuando ese estiramiento del tejido espacio-temporal lo llevamos al límite aparecen los agujeros negros. El agujero negro en sí es una estrella que colapsa sobre si misma alcanzando una gravedad tan grande que ni la luz puede escapar de ella. Es un objeto que, por su naturaleza espacial, atiende a la relatividad especial pero, por su naturaleza de “lo minúsculo” o por el comportamiento de las partículas dentro de esa masa tan sumamente concentrada, atiende a la mecánica cuántica (bueno... atiende a ratos). Esa estrella negra es el único punto de unión entre las dos teorías. Y es donde ambas se van a pique, obligando así a unir las dos en una teoría que soporte tales extremos gravitacionales y de densidad de partículas.

Algo tan denso provoca una enorme curvatura en el tejido espacio-temporal, lo que produce una enorme distorsión de nuestra cama elástica; la cual, a partir de cierto punto (que llamamos horizonte de sucesos) es tan grande que deja de atender a toda ley física que conocemos. Ese es el punto de no retorno, tanto para un fotón, como para una lechuga.

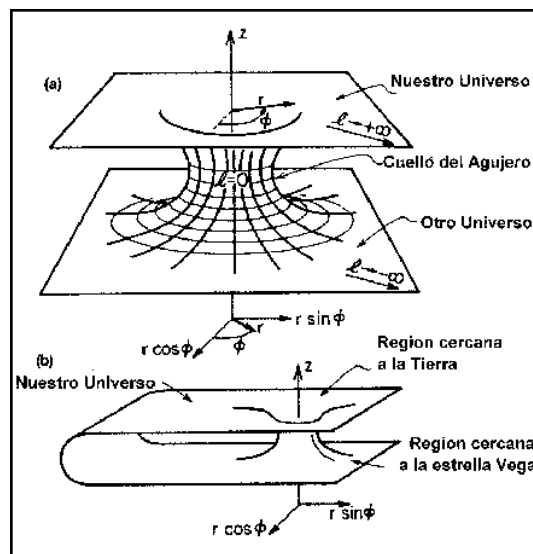
*Nuestras vidas son los ríos  
que van a dar en la mar,  
que es el morir;  
allí van los señoríos  
derechos a se acabar  
y consumir;*

*allí los ríos caudales,  
allí los otros medianos  
y más chicos,  
y llegados, son iguales  
los que viven por sus manos  
y los ricos.*

Jorge Manrique (Que ya se sospechaba algo de esto). “Coplas a la muerte de mi padre”

La existencia de los agujeros negros se obtiene al analizar en detalle las ecuaciones derivadas de las propiedades relativistas. Se obtiene una solución simétrica de signo opuesto para todo. Lo que en este caso llamamos agujero blanco. El agujero blanco es una región finita del espacio-tiempo, vista como una estrella blanca, con una densidad tal que deforma el espacio. Pero, a diferencia del agujero negro, deja escapar materia y energía en lugar de absorberla. De hecho ningún objeto puede permanecer en el interior del horizonte de sucesos durante un tiempo infinito (el contrario que en un agujero negro).

Tiene sentido asociar rápidamente ambas soluciones y determinar que el agujero negro desembocará en un agujero blanco formando una especie de túnel espacio-temporal. Este túnel se llamará Agujero de Gusano, y es otra de las implicaciones de las características del tejido del espacio-tiempo. Quizá la más visual e impactante. Estos agujeros de gusano nos podrían llevar al pasado o a universos paralelos:



Todo esto procede de un desarrollo posterior de las Ecuaciones de Einstein, quien se quedó intentando unificar ambas teorías.

Desde un punto de vista astrofísico, Karl Schwarzschild (sinceramente para mí es, junto a Nikola Tesla, uno de los científicos por los que siento mayor admiración), Subrahmanyan Chandrasekhar y Arthur Stanley Eddington fueron los precursores. Desde el punto de vista puramente teórico Stephen Hawking, Roger Penrose, Kip Thorne y Robert Oppenheimer han sido los que más revelaciones han hecho.

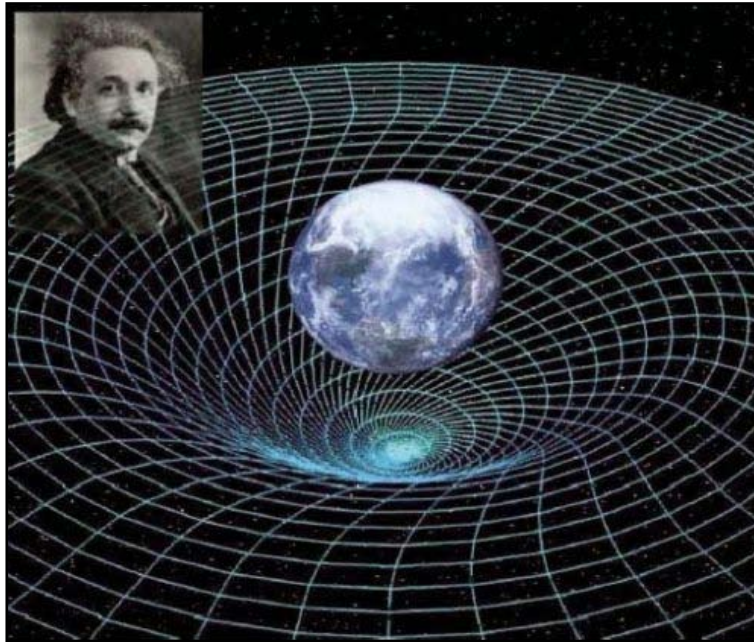
Una vez demostrada la existencia de los agujeros de gusano matemáticamente (y en ningún caso experimentalmente), deberíamos hacernos la siguiente pregunta: ¿Es realmente factible crear un agujero de gusano y atravesarlo? Ambas hipótesis son factibles. Si durante su formación, el agujero de gusano supera cierta energía, se podría atravesar: sería como deslizarse por el tobogán de un parque acuático.

Sin embargo, crear el agujero de gusano ya entraña una dificultad mucho mayor. Habría que utilizar una tecnología y una cantidad de energía enormes para crearlo a nuestra medida. Una complicación adicional es que, si creamos artificialmente un agujero de gusano, podremos viajar al pasado, sí, pero no podremos sobrepasar el momento de su creación.

Otro modo de viaje en el tiempo (y quizás el más viable con los métodos de los que disponemos actualmente) nos permitiría viajar al pasado usando vórtices de láseres. Esta idea se basa en el postulado de la Teoría de la Relatividad General que muestra que la energía (en este caso la luz) puede tener efectos mágicos que curvan el espacio-tiempo haciendo arrastres de marco y curvas cerradas en el tiempo.

El arrastre de marco es la forma de "torbellino" que se forma en el tejido espacio temporal (como podemos ver en la fotografía).

El torbellino espacio-temporal puede hacer que este tejido se cierre sobre sí mismo (no olvidemos que no es bidimensional sino que al menos es tetradimensional -contando con el tiempo- y que se llegue a crear un bucle infinito y cerrado por el cual podríamos viajar hacia el pasado.



A parte de las paradojas que producen los viajes en el tiempo (que ahora estudiaremos), la única objeción que hay en esta teoría que se necesitaría una cantidad ingente de energía para que los láseres hagan un arrastre de marco tal que puedan crear una curva cerrada del espacio-tiempo. Para saber la energía necesaria necesitamos saber la cantidad de masa del espacio-tiempo por unidad de longitud y el número de dimensiones de éste. (Pero partiendo del mínimo de cuatro se necesitaría aproximadamente la energía que genera el sol durante poco más de un año a cada segundo que pretendamos mantener la máquina encendida.)

Otro de los métodos posibles es la utilización de un núcleo atómico pesado. Un núcleo atómico pesado situado dentro de un fuerte campo magnético podría alargarse hasta formar un cilindro, cuya densidad y rotación serían suficientes para viajar en el tiempo. Los rayos gamma proyectados podrían permitir enviar información (aunque no materia) de regreso al pasado.

El problema de esta teoría es que se trata de una aplicación de la relatividad general a la mecánica cuántica; y hasta que no tengamos una teoría que una a ambas no sabremos si esta idea es descabellada.

Algunas de las posibles soluciones de las ecuaciones de la Relatividad General admiten la existencia de espacios-tiempos cerrados; lo que permitiría a un observador exterior contemplar un ciclo repetitivo de futuro a pasado y de ahí a futuro de nuevo, y así indefinidamente. Podríamos estar en uno de esos universos pero jamás nos daríamos cuenta, a no ser que nos lo contase un observador exterior.

Estos son los tres métodos teóricos más plausibles para viajar al pasado. Pero el único método seguro de viajar en el tiempo (en este caso sólo al futuro) es la velocidad. Como ya sabemos, a mayor velocidad en un sistema de referencia 1, distinta duración del tiempo de ese sistema visto desde otro sistema de referencia 2 estático (o a distinta velocidad). De ahí que un observador estático pueda afirmar que viajamos 5 minutos a su futuro al año por la velocidad de rotación de nuestro planeta en el sistema solar y del sistema solar en la galaxia, sumado a la dilatación del tiempo producido por el campo gravitatorio que nos sujeta al sol.

En un principio, cuando la teoría de la relatividad empezó a andar, se planteó una paradoja muy conocida llamada la Paradoja de los Gemelos, creada precisamente por las diferencias temporales que se crean a distintas velocidades. Esta paradoja afirma (y está comprobada) que si tenemos dos gemelos con idéntica edad y uno partiese en una nave que viajase por el espacio a una velocidad muy elevada (y cuando digo muy elevada me refiero a un 80 o 90% de la velocidad de la luz) durante, por ejemplo, 70 años; y el otro gemelo se quedase viviendo tan tranquilo en la Tierra, cuando vuelva el hermano viajero estará mucho más joven que su hermano "terrestre". Por poner un ejemplo práctico, si ambos hermanos son separados a los 18 años y pasan 72 años desde que parte la nave viajando al 90% de la velocidad de la luz, el hermano viajero llegará a la tierra con unos 49 años de edad; mientras que obviamente, el hermano que no ha viajado mantendrá sus 90 años. ¡Si fuésemos el hermano "terrestre" podríamos afirmar que su hermano viajero ha avanzado 41 años hacia el futuro!.



Si la velocidad a la que se mueve el objeto la llevásemos al extremo y la igualásemos la velocidad de la luz (pese a que sería imposible) el tiempo que transcurrirá será 0 respecto al observador estático. Es decir, no pasará el tiempo para ese objeto desde el punto de vista de un observador con una velocidad diferente. De ahí, podemos afirmar, que un fotón tiene una vida infinita mientras viaje libremente por el espacio.

Con este razonamiento se consiguió afirmar la veracidad de la Teoría de la Relatividad. Se conocen ciertos elementos radioactivos que tienen vidas muy cortas y se conocen perfectamente esos tiempos. En un acelerador de partículas se aceleró un átomo de uno de esos elementos y se observó como, a medida que se acercaba a la velocidad de la luz, su vida era cada vez más larga.

Y volviendo al tema de las paradojas que se producen por los viajes en el tiempo, y pasando ahora a los viajes teóricos (todos al pasado), otra de las más conocidas es la paradoja del abuelo. Esa paradoja se plantea así: Supongamos que ya se puede viajar al pasado y yo viajo hasta el momento en el que mi abuelo tenía un par de años. Supongamos también que, entonces, sentía un terrible odio hacia mi abuelo porque él era más guapo que yo a esa edad, así que le mato y vuelvo al presente. Entonces en el presente estaría yo y estarían mis padres sin estar mi abuelo vivo; y sin mi abuelo vivo uno de mis padres no hubiese podido existir y, por tanto, yo tampoco. Como dijo Pogo (de Star Trek): «Hemos conocido al enemigo y éste es... nosotros».

Esta paradoja tiene varias posibles soluciones teóricas (y la mayoría descritas antes por los escritores de ciencia ficción que por los propios físicos). Por cierto, todas ellas tienen flecos. No carguéis el arma ya que aún no sabéis qué os puede pasar.

La primera y más lógica es que en el momento que viajas al pasado ya estás cambiando directa o indirectamente el transcurso del resto del tiempo; y más, si matas a tu abuelo. En el momento que cambias algo (es decir, en el propio momento en el que llegas) se crearía un universo paralelo (o dicho más científicamente –ya que el concepto de universo paralelo pertenece a la Teoría de Cuerdas- se crea una nueva Historia) en el que tu inicialmente pones las condiciones para que éste siga su curso. En ese universo paralelo, tu jamás serás concebido y al volver a tu Historia estará ahí tu abuelo, tus padres y tú.

Esta idea gusta poco entre científicos porque da la posibilidad de manejar la Historia a tu antojo con el poder de un dios pero, desgraciadamente para ellos es la idea más plausible y coherente; y en cierto modo, mágica. Matemáticamente es una solución que está muy completa, aunque los fallos son obvios: debería haber infinitas historias, y el infinito siempre es un término molesto. Además está la pregunta de: ¿salieron “prefabricadas” esas Historias del Big Bang –por lo que su masa debería ser infinita? o por el contrario ¿se ramificaron de una única Historia? En el segundo caso, ¿de dónde sale la masa?

Otra solución (también muy posible) es la del acceso restringido. En esta solución se postula la posibilidad de que en el momento en el que vayas a apretar el gatillo para matar a tu abuelo se encasquille, o que la bala desaparezca o cualquier otra cosa por inverosímil y aparentemente antinatural para evitar la muerte del abuelo. El problema aquí también recae en los infinitos. Pueden pasar infinitas cosas para que no le consigas matar, y todas ellas necesitan una energía extra; ¿de dónde se extrae?

La siguiente solución es bastante más retorcida pero físicamente posible: el retroceso cuántico. Se ha postulado que algunas partículas poseen la cualidad natural de “retroceder en el tiempo”; lo que a un nivel cuántico significa que, si ocurre un proceso físico determinado, de manera aleatoria éste puede revertirse y devolver a las partículas involucradas al estado anterior. Esto equivale a decir que si matamos al abuelo, las partículas del presente del que venimos se reagruparán, viajarán al pasado y volverán a formar al abuelo vivo. Increíblemente, si la teoría del caos cuántico es reemplazada por una en la que exista lo aleatorio (que sólo podría darse al juntarse con la Relatividad General, ya que es la única que predice que no existe nada aleatorio), esto podría ser altamente probable, por no decir segura; ya que solo falta compararla con la Teoría del Todo.

Por último, la conjetura de protección cronológica es la única capaz de explicar todas las paradojas que los viajes al pasado pueden dar (por ahora) de una forma lógica. Esta teoría sostiene que las leyes de la física son tales que impiden el viaje al pasado a escalas que no sean las submicroscópicas (ya que a esas escalas la Cuántica puede explicarlo todo). Para el creador de esta teoría, Stephan Hawking, pese a las demostraciones matemáticas, la mejor demostración de dicha imposibilidad es que en la actualidad no estamos siendo invadidos por turistas venidos del futuro.

En este momento nos encontramos en un brete: matemáticamente, estudiando las soluciones de la relatividad general, hallamos la posibilidad de viajar al pasado haciendo curvas cerradas en el tejido espacio-temporal; pero, pese a esa posibilidad, no podemos viajar de ninguna de las maneras según la conjetura de protección cronológica. Para salir de



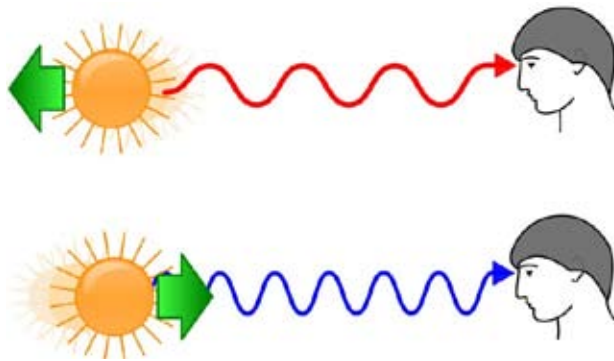
aquí, estamos a la espera de la teoría de la gravedad cuántica: teoría definitiva que juntará la gravedad con las otras tres fuerzas cuánticas (nuclear fuerte, débil y electromagnética).

Ahora, con toda la teoría de la relatividad en nuestra cabecita, vamos a hacer un viaje. Nos vamos a subir en una nave que puede llegar al 99% de la velocidad de la luz. ¡DESPEGAMOS!

Vamos a ir a Marte. Haremos el trayecto a un pequeño 20% de la velocidad de la luz. Ahí los efectos relativistas empiezan a ser visibles. Cuando nuestro GPS interplanetario nos dice que deberíamos tener frente a nosotros a Marte; vemos frente a nosotros algo de un color azul muy oscuro que se camufla bastante bien con el fondo negro; e incluso algunos de los tripulantes no lo ven. ¡Dónde está Marte!, ¡nos lo han cambiado!. Entonces, el único que se había leído la "guía de lo que debemos de tener en cuenta antes del viaje" dice:

-:Tranquilos todos, es sólo el Efecto Doppler.

Este efecto se resume perfectamente con esta imagen:



Al acercarnos a gran velocidad a un objeto que emite ondas, la longitud de dichas ondas disminuye, haciéndose más pequeña y tornándose así de un color cada vez más azul.

Después de una paradita para observar bien Marte, seguimos con nuestro viaje. El nuevo destino será ¡Júpiter!. Como está bastante lejos le damos caña al cacharro: 50% de la velocidad de la luz .

Cuando el GPS empieza a pitar avisando de que ya tiene que ver Júpiter, no se ve. La gente se vuelve a asustar: una cosa es verlo con otro color, y otra cosa es no verlo... Entonces, el apreciado lector de la guía le pide al piloto de la nave que en vez de ir de frente a Júpiter, gire un poco el rumbo, dejándolo a uno de los lados. Lo que se ve es mágico. Conforme el rumbo cambia poco a poco, Júpiter empieza a salir a flote del negro más oscuro por un lado de la nave, pasa a un azul marino muy marino, y cada vez se va aclarando más y más. Las ondas que llegan oblicuas no sufren un achatamiento tan grande como las que llegan frontalmente a la nave, y por tanto Júpiter poco a poco se deja ver mejor y en tonos azules más claros. Justo cuando pasamos a su lado se ve de un color cian precioso. La gente gira su cabeza y ve como se aleja poco a poco... y a su vez, ¡ven como se vuelve de color rojo!. Esto también es el Efecto Doppler. Al acercarnos se produce el corrimiento al azul, y al alejarnos, el corrimiento al rojo.

Hasta ahora un viaje con la Teoría de la Relatividad es poco más que colorear los planetas. Pero ahora empieza lo divertido.

Partimos rumbo a Saturno al 75% de la velocidad de la luz. Dejamos Saturno a un lado sin bajar la velocidad, por lo que sólo lo vemos muy oscuro; muy poco tiempo y perpendicular a la nave. En un momento ya hemos pasado Saturno, y un rapidísimo fotógrafo ha logrado tomar una foto de ese instante. Al verla se queda pálido. ¡Saturno está deforme!. ¡Los anillos se ven como ondulados e incluso haciendo bucles!.

El que se memorizó la guía tras unas pocas carcajadas al oír todo tipo de teorías conspiratorias de Nostradamus o del LHC lo explica:

-Eso es la rotación de Terrell. Para explicarlo os pondré un ejemplo: Cuando vamos en un coche y llueve, las gotas de agua parecen caer con cierto ángulo. Si la velocidad del coche es igual a la velocidad de las gotas, ese ángulo, por ejemplo es de 45°. Realmente las gotas caen en línea recta; pero al que conduce le parece que todas van a por él, y al que mira por la ventanilla de atrás, no ve que llueva mucho. Algo así pasa en este caso; pero como nada cae, llevamos ese ejemplo a un plano horizontal. Antes de seguir explicando, venid y mirar esto.

Entonces le pide al piloto que ponga el cacharro al 90% de la velocidad de la luz, y prosigue su explicación conforme uno de los más mágicos espectáculos se forma frente a todos los viajeros.

-Como veis, frente a vosotros se empiezan a acumular estrellas en un punto. En realidad, lo que está pasando es que estamos viendo lo que tenemos a nuestra espalda, estamos viendo en un ángulo de 308 grados. Es lo mismo que pasa con la lluvia, pero en este caso en horizontal. A velocidad cero tenemos 180 grados de visión. Conforme subimos de velocidad, y concretamente a esta, esos 180 grados se comprimen en solo 52 grados; y, como un abanico, arrastra lo que tenemos a nuestra espalda. Por eso, en frente vemos una grandísima acumulación de estrellas. Todas las estrellas que estaban repartidas en 180 grados, ahora están repartidas en 52. Esta distorsión, produce que los anillos de Saturno se vean doblados, con bucles, etc. Si tuviésemos un par de paredes infinitas a nuestro lado, a esta velocidad las veríamos juntarse y formar un techo que se sigue doblando y acaba formando un pico frente a nosotros. Tendría la forma de una eme mayúscula y redondeada.

El piloto de la nave, después de esto acelera ya hasta el 99% de la velocidad de la luz. Ahora mismo pueden ver 315 grados. Frente a ellos hay una enorme acumulación de estrellas que obliga a todos a ponerse las gafas porque puede dejarles ciegos, ya que todas las estrellas que normalmente se repartirían en 180 grados, ahora están concentradas en 45,28 grados.

En ese instante, frente a ellos, aparece un círculo con el arcoíris. Algo así:



En realidad lo ven mucho más grande, con muchos más colores definidos y con mucha más intensidad.

Están atropellando partículas que van casi a la velocidad de la luz, pero más lentas que ellos. Pese a que estas partículas normalmente emiten longitudes de onda invisibles, a esa velocidad las podemos ver, haciendo este mágico espectáculo. En el centro, sigue habiendo un grandísimo cúmulo de estrellas superbrillante.

Entonces, un listillo pregunta por qué se ven las estrellas y lo demás (planetas, cometas etc.) no. (Y supongo que vosotros también os lo habéis preguntado, listillos.) Las estrellas emiten en todas las longitudes de onda atendiendo a la física de un cuerpo negro, y por tanto, emitan en la que emitan, e independientemente de la velocidad a la que nos movamos, siempre habrá alguna longitud de onda que se vea.

El viaje ha acabado. Hemos visto los efectos inmediatos de la teoría de la relatividad, de la velocidad y del espacio-tiempo; pero lo que más nos chocará será la llegada a la tierra. Esa tierra dominada por los robots que conviven pacíficamente entre ellos y entre el resto de especies. Al ir tanto tiempo a tantísima velocidad; han avanzado en el futuro muchos miles de años (paradoja de los gemelos), aunque para los turistas, el viaje solo ha durado media hora.

*(Nota: Los datos del viaje de los grados y de los colores de los planetas son una estimación lo más exacta posible, aunque tienen redondeos del 0,1. Aunque parezca ciencia ficción, es pura física).*

Ahora cierra los ojos, y haz el viaje una y otra vez, hasta que mentalmente lo puedas imaginar perfectamente. Si necesitas una ayudita puedes descargarte este programita: <http://realtimerelativity.org/>.

Como curiosidad, añadiré que mientras estás cayendo en un agujero negro, puedes verte la espalda completamente. Yendo a la velocidad de la luz no llegas a eso, tienes un ángulo de visión de 315 grados, pero en un agujero negro, es de 360 grados.

Lo que empezó con un tren, ha acabado con el viaje más surrealista que alguien puede hacer.

Bienvenido a TU UNIVERSO.