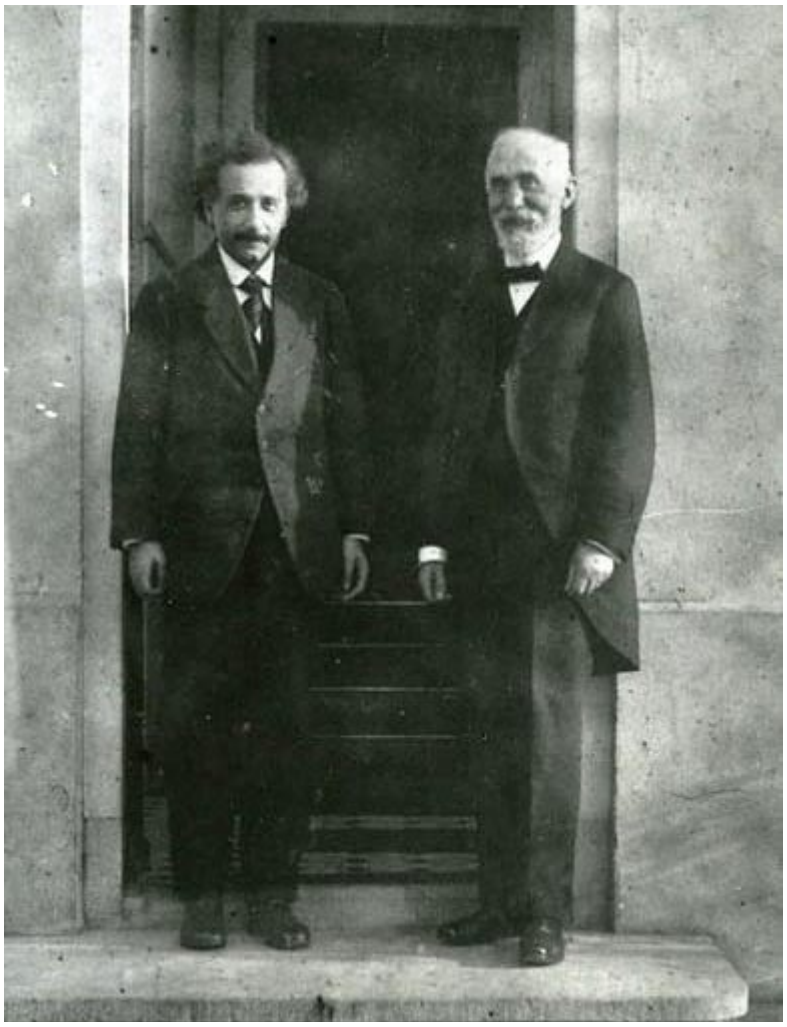
La Transformación de Lorentz: el "eureka" de la Relatividad Especial y el arranque de imaginarias máquinas del tiempo

Por Josep Emili Arias
cel_ras@hotmail.com

Resulta curioso que entre los años 1903-1905, mientras los hermanos Wright ensayaban levantar cortos vuelos sobre las playas de Kitty Hawk (Carolina del Norte), en la vieja Europa otros dos imaginativos físicos teóricos llamados Lorentz y Einstein intuyeron, sobre papel, viajar con el tiempo a velocidades muy cercanas a la luz



Si la Academia Nóbel de Oslo premiase los postulados de física teórica, no hay duda, que de haberle otorgado el Nóbel de Física a la teoría de la Relatividad Especial, dicho galardón hubiera sido compartido por dos personas, Lorentz y Einstein.

El inicio de este artículo no pretende, de ninguna manera, minusvalorar la figura del inmemorial físico Albert Einstein, figura homenajeada durante el pasado año 2005, que fue declarado por Naciones Unidas como -Año Mundial de la Física-, para así conmemorar el primer centenario de la publicación del discreto artículo "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento", compendio de la teoría de la Relatividad Especial o Restringida. Lo de -restringida- viene a significar que sólo

es válida para observadores inerciales, es decir, observadores que se mueven con velocidad constante y siempre en ausencia de gravedad y aceleración. Este artículo fue publicado en la revista alemana *Annalen der Physik*, en 1905. Sus dos postulados fundamentales enunciaban: "1º.-Todas las leyes físicas han de cumplir el principio de invariancia, es decir, deben ser iguales (invariantes) para todos los sistemas y observadores inerciales de referencia. Las leyes de la naturaleza deben ser absolutas y equivalentes. 2º.-La velocidad de la luz es el único marco de referencia absoluto, siempre presenta el mismo valor para cualquier observador, independientemente del estado de movimiento del observador o de la fuente luminosa". Todas sus teorías iban a revolucionar el mundo, la cosmología y el pensamiento humano. Digamos que lo más bello que posee la ciencia es que dentro del continuo proceso creativo de sus modelos hipotéticos, sus teorías, principios e, incluso, sus leyes físicas, nunca éstas adquieren un carácter absoluto ni dogmático, sino que quedan sometidas al libre examen y la experimentación continua. De ahí, que el propio Albert Einstein en su Relatividad General de 1915 mejorase y actualizase la Ley Universal de la Gravedad de Isaac Newton, pues esta ley presentaba serias anomalías en la determinación del perihelio del planeta Mercurio. A fecha de hoy, el único valor absoluto y universal que disponemos es el factor constante de la velocidad de la luz en el vació «c», cuyo valor siempre es independiente al marco o bastidor de referencia del que se observa. En las ecuaciones matemáticas que describen nuestro universo resulta imprescindible el factor constante de «c». De ahí, que exista un bello principio antrópico que señala que nuestro sentido visual del espectro de la luz resulta imperiosamente imprescindible para toda especie inteligente que pretenda crear ciencia. No olvidemos que los ojos son una extensión del cerebro. Es muy difícil que pueda existir una especie inteligente y tecnológica que sea invidente al espectro de luz visible.

Lorentz, Hendrick Antoon (1853-1928)

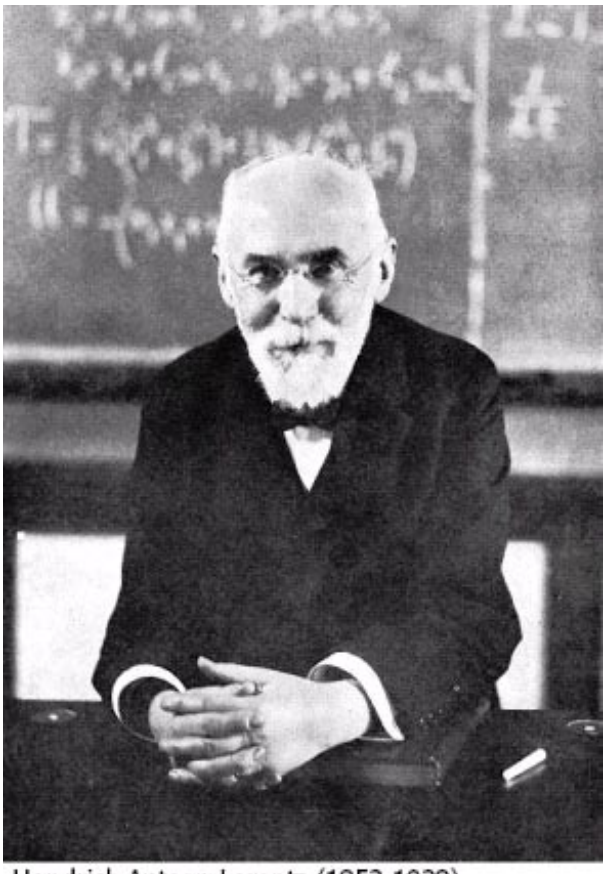
Matemático y físico teórico holandés, galardonado con un Premio Nóbel. Elaboró las bases clave para las leyes de la Relatividad Especial, siendo las más importantes la contracción de longitudes de Lorentz-Fitzgerald y la dilatación del tiempo. Fue amigo y asociado de Einstein cuando éste estaba desarrollando sus leyes de la física para la Relatividad General. En 1902 recibió el Premio Nobel de Física compartido con su discípulo Pieter Zeeman, por demostrar los cambios que producen los efectos de un campo de magnético fuerte sobre las oscilaciones de las longitudes de onda de la luz.

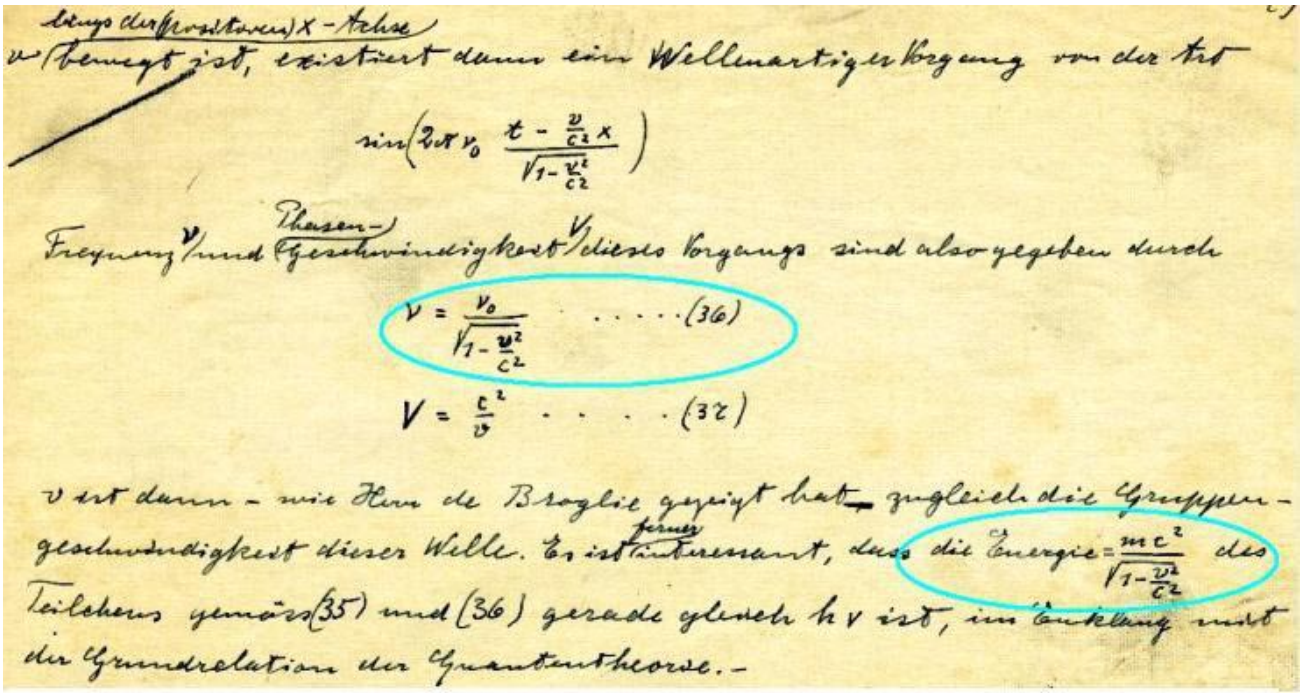
Transformación de las coordenadas del espacio y del tiempo, según Lorentz

De entrada digamos que Hendrick Lorentz fue el primer matemático en plantear en sus ecuaciones los fenómenos de dilatación temporal y contracción longitudinal, como valores subordinados a su velocidad. Estas dos curiosas consecuencias físicas son ecuaciones derivadas la conocida Transformación de Lorentz (1903), descrita siempre para escenarios con observadores inerciales, los que se mueven con velocidad constante unos respecto a otros y siempre en ausencia de fuerzas de gravedad y aceleración. Asombrosamente estas consecuencias físicas se mostraban muy intensificadas cuando la velocidad de la propia partícula u objeto se situaba rozando en décimas la velocidad de la luz en el vacío. Lo más llamativo e ilógico que provocaban los postulados de Lorentz para las mentalidades de principios del siglo XX surgía porque la dimensión de «tiempo» siempre resulta más perturbadora que las otras dos variables de longitud y masa (la masa acelerada a la velocidad de la luz, tiende al infinito). Pues, como muy bien razonaban, si un objeto o nave contraía a la mitad su dimensión longitudinal, a consecuencia de su velocidad ultraalta, cuando dicho objeto volviese a adquirir velocidades domésticas o situación de reposo, éste recuperaría su dimensión original sin dejar rastro de su anterior deformación geométrica y, por tanto, no mantendría controversia alguna. Sin embargo, el fenómeno de dilatación temporal conllevaba cierta perplejidad ya que se sabía que el propio «tiempo» era de naturaleza siempre acumulativa (se agregaba) en todos los supuestos, incluso en los procesos biológico. Ahora conviene describir y aclarar el comportamiento físico de la dilatación temporal, ya sea ésta por efecto

de alta velocidad (o aceleración), o bien, por la proximidad a intensos campos gravitatorios. La dilatación temporal, tanto para relojes físicos como biológicos, no nos debe llevar al erróneo concepto que dentro de la nave con velocidad relativista (o en la proximidad del horizonte de un agujero negro), allí, se «viven» más años; cuando lo que realmente sucede, allí, es que «duran» más los años. Siempre en referencia o en comparación a otro sistema en reposo (Tierra). Es decir, allí, también se envejece pero mucho más lentamente. La medición de nuestras pulsaciones cardiacas en una nave con velocidad cercana a la luz siempre estará en relación al minuto dilatado del sistema nave. Por tanto, todos los procesos físicos, químicos, biológicos y neuronales permanecen sujetos al ritmo de la dilatación temporal dentro de la nave relativista. Como ejemplo didáctico digamos que, aparentemente, se tardaría idéntico tiempo, -unas 5 horas-, en leer todo el último número de la revista *Huygens*, tanto si lo leemos estando en el sistema playa de Gandía o, bien, dentro de un sistema nave interestelar camino a la estrella Vega y a la velocidad de 0,988 el valor de unidad del factor «c». Pero esas 5 horas de lectura de *Huygens* en el sistema nave equivaldrán a unas 33 horas del sistema Tierra. Como veis, también el proceso de lectura queda muy ralentizado dentro del sistema nave.

Cuando se menciona termino relatividad, todo el mundo piensa en la ecuación de Einstein, $E=m\cdot c^2$, como el icono más emblemático de la ciencia moderna, cuando esta súper conocida ecuación es un subproducto de la Transformación de Lorentz. Estas ecuaciones o transformaciones que el matemático Lorentz formuló en 1903, sobre -la dilatación temporal y la contracción de la longitud-, fueron la piedra angular sobre la que Einstein asentó, año y medio después, sus ecuaciones y principios de la Relatividad Especial o Restringida. Esta Transformación de Lorentz fue para Einstein lo que, hace más de tres siglos constituyó la Tercera ley de Kepler sobre la que Newton completó la formulación de su Ley de Gravitación Universal. En cierta forma el mismo Albert Einstein lo reconocía, anunciando: «La correcta transformación de un sistema de coordenadas inercial a otro, no hay duda, que es la Transformación de Lorentz». Ese fue el gran salto conceptual de Einstein, al afirmar que la Transformación de Galileo era incorrecta y que las curiosas y perturbadoras consecuencias derivadas de la Transformación de Lorentz debían ocurrir en el mundo real. También, Einstein se sirvió de esa nueva geometría que rompió con la arcaica geometría Euclidiana, propuesta por Georg Riemann en 1854, quien postulaba que la acción de una fuerza (gravedad) repercute en la geometría del espacio. Estas conclusiones de Riemann las tomó Einstein para introducir la relatividad del movimiento y el concepto de un espacio-tiempo tetradimensional. Estas dos deducciones fundamentales derivadas de la Transformación de Hendrick Lorentz, -dilatación temporal y contracción longitudinal-, formuladas en 1903, resultaron de una simplicidad matemática que aún siguen asombrando y emocionando al ser humano. El error o relajo del físico y matemático Lorentz fue creer que sus ecuaciones eran sólo simples abstracciones matemáticas. Mientras que para el muy intuitivo Albert Einstein, estas ecuaciones de Lorentz tenían que ser realidades físicas evidenciables que se adaptaban a todos los escenarios (en cualquier sistema inercial), e independientemente de que los observadores inerciales se moviesen uno respecto


Hendrick Antoon Lorentz (1853-1928)



Manuscrito de Albert Einstein con ecuaciones deducidas de la trasnsformación de Lorentz (1905)

al otro. Para Einstein estaba muy claro que la magnitud «tiempo» en la Transformación de Lorentz tenía que ser considerada como una dimensión «espacial» más. Pues, si queremos determinar la posición de un punto cualquiera dentro del volumen de una habitación necesitamos conocer las tres coordenadas espaciales (profundidad, distancia a paredes adyacentes y altura); Y Einstein no dudaba en que debía de agregarse la coordenada «cuando» como otra coordenada espaciales más. Pues la distancia que surge entre dos eventos cualesquiera, no sólo debería incluir la localización espacial en la que ocurrieron, sino también el intervalo temporal entre estos dos eventos. Este era un parámetro fundamental para concebir la teoría de la relatividad especial, donde quedaban fusionadas las tres clásicas dimensiones espaciales con la coordenada temporal, esa cuarta dimensión llamada tejido espacio-tiempo. A partir de Einstein la naturaleza del espacio ya era tetradimensional.

El concepto de dilatación temporal se convertiría con los años el tiempo en esa tan soñada e idealizada longevidad (elixir de juventud) que podría acompañar al futuro *homo sapiens* en sus futuros viajes interestelares. Bastante después de 1905, ya con los principios de la Relatividad Especial asentados en el acervo popular, se abrieron las mentes a la creatividad literaria de la ciencia-ficción, como una fuente de descabelladas tramas narrativas acerca de la ansiada eternidad, viajes al futuro, viajes al pasado y máquinas más veloces que la luz.

Cabe también reseñar que en 1915 Einstein unificó las leyes newtonianas de la inercia y la gravitación con la Relatividad General. En un futuro, un matemático o físico teórico conseguirá unificar los principios de la Relatividad con las leyes de la mecánica cuántica, esas leyes que rigen la génesis de nuestra materia elemental. Pues hoy, aún desconocemos qué fuerza o principio es la que genera la adquisición de masa o energía para constituirse como partículas elementales dentro de la estructura subatómica, llámense quark o electrón. Como también nos cuestionamos que tipo de materia había un instante antes del Big Bang. Creo que era Richard Feynman (1918-1988) quien ya resolvió esta peliaguda cuestión argumentando que, tal vez, toda nuestra materia «clásica» u ordinaria que nos rodea derive de la exótica consecuencia de cuando la «nada» se vuelve inestable. Ciertamente, en el marco de la mecánica cuántica parece estar la respuesta. Claro, este gran científico y percusionista musical fue uno de los grandes "gurúes" de la física cuántica moderna.

Relatividad Especial, una teoría probada

La dilatación del tiempo en

partículas a velocidades relativistas, es uno de los experimentos clásicos para probar la teoría de la Relatividad Especial. Cuando los aceleradores de partículas lanzan diariamente electrones a velocidades tan elevadas como 0,999999995 veces la velocidad de la luz, su comportamiento a estas velocidades ultraaltas está en completo acuerdo con las leyes de la física, tal y como las describe la Relatividad Especial de Einstein. Por ejemplo, la masa se agranda en la misma proporción que se dilata el tiempo. Por ello, la masa-energía de una partícula subatómica aumenta conforme se acercan a la velocidad de la luz, lo que implica que para desplazar esta creciente masa a la velocidad de la luz también se requiera de una infinita energía (o fuerza aceleradora) para poder desplazar este objeto o partícula. Ninguna partícula constituida por materia «clásica» puede viajar más rápido que la luz, viola el principio de relatividad. Otra evidencia constatada la tenemos cuando lanzamos electrones contra un blanco predispuesto, éstos se desintegran produciendo partículas de alta velocidad, llamadas mesones *mu*, que viven sólo durante 2,22 microsegundos medidos en el propio tiempo de la partícula, aunque debido a la dilatación del tiempo viven durante 100 microsegundos o más, medidos según el tiempo de los físicos que están en reposo en el laboratorio.

Un poco de historia

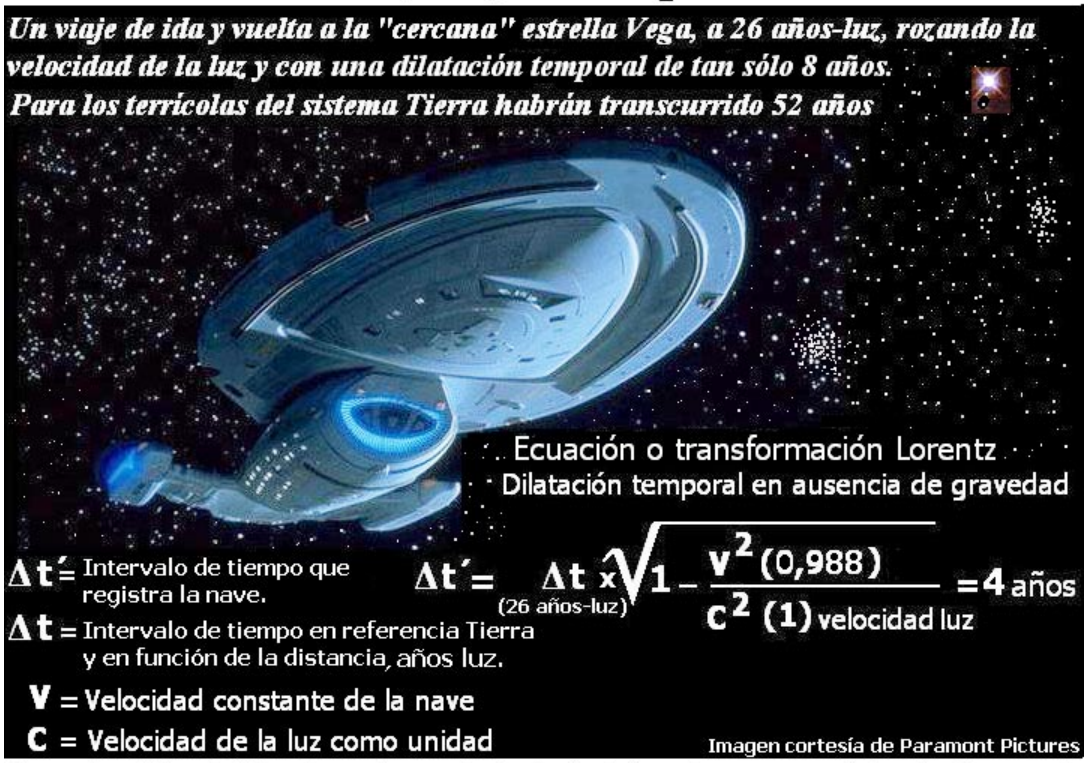
Las ecuaciones de electrodinámica de Maxwell ya predecían que la velocidad de la luz en el vacío debía de ser una constante absoluta en cualquier sistema de coordenadas, e independiente de su movimiento y dirección. Según James Maxwell el desplazamiento de la velocidad de la luz (como toda onda electromagnética, rayos X, infrarrojos, radioondas, ultravioletas, luz), imperativamente, debía de ser constante en el vacío. Pues según sus postulados la propia velocidad de la luz es un subproducto que deriva, a la vez, de dos constantes: la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética del vacío. H. Lorentz veía claro que las ecuaciones de Maxwell le obligaban a emplear la velocidad de la luz como un factor constante, invariante e imprescindible para formular sus ecuaciones relativistas. A partir de aquí, recién comenzado el siglo XX, Hendrick Lorentz (y otros físicos teóricos) se percataron que las ecuaciones de campo electromagnético de Maxwell resultaban incompatibles con la física newtoniana de -espacio y tiempo- absolutos. En 1903, Lorentz decidió investigar cuales debían ser las ecuaciones correspondientes a una transformación que mantuviera invariantes (sin alteraciones) las ya verificadas ecuaciones de Maxwell para todos los escenarios y sistemas inerciales. Antes, para los planteamientos de relatividades pre-Lorentz, según la relatividad supuesta por Galileo, cabía este ejemplo mental anacrónico: Si usted viajaba en un auto a 40 km/h y encendía los faros, la luz que parten de ellos era sumada con la propia velocidad del auto. Pues para la relatividad de Galileo todo observador fijo en tierra debe medir, superponer y sumar todas las velocidades, operándose como 299.792 km/seg + 40 km/h, > 299.792.458 m/seg + 11,11 m/seg = 299.972.469,11 m/seg. Pero esta Transformación de Galileo era totalmente incorrecta. El observador fijo en tierra, independientemente de la velocidad que adquiera el auto, siempre medirá el desplazamiento de luz que proyectan sus faros con idéntico valor al factor «c» de la luz en el vacío, 299.792 km/seg (más exactamente en 299.792.458 m/s). Dicho desde otro punto de vista, si usted se aleja del Sol con una nave espacial y realiza una cata de medición de la luz o fotón que emite el Sol, invariablemente, este registro resultará también con valor 299.972 km/seg. Nunca usted mediría valores inferiores al desplazamiento de la luz solar (en vacío) por mucho que intentase huir de la propia dirección o procedencia de los fotones solares. No importa a que velocidad o en que dirección se mueva usted. Para cualquiera sistema de coordenadas que posicionemos al observador (en reposo o movimien-

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \quad y' = y; \quad z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Ecuaciones de la Transformación de Lorentz (1903)

La naturaleza es, así, de sorprendente



Con este viaje de ida a la vecina galaxia de Andrómeda, con una distancia-tiempo de 2,2 millones de años-luz, dilatamos el tiempo de la nave a tan sólo 984 años.

$$\Delta t' = \Delta t_{(2.200.000\ \text{años-luz})} \times \sqrt{1 - \frac{v^2\,(0{,}9999999)}{c^2(1)}} = 984\ \text{años}$$

to), la luz siempre se propagará con la misma velocidad. ¿Lo entiendes ahora?. La naturaleza, y según la relatividad de Einstein, impiden que las velocidades puedan restarse o sumarse. Por todo ello, el valor "c" es una constante universal, básica e imprescindible para operar en las ecuaciones de la física fundamental y la cosmológica. En 1903 y 1904, este matemático holandés Hendrick Lorentz fue el primero en describir un sistema de ecuaciones (Transformación de Lorentz) que requería que la velocidad de la luz en el vacío fuera invariante y absoluta, donde ésta adquiriera el mismo valor para distintos observadores. El hecho de que el valor "c" era una magnitud constante e independiente en cualquier sistema de referencia inercial ya fue verificado experimentalmente por Michelson y Morley en 1887, donde el valor de la velocidad de la luz (solar) a través del, -erróneamente supuesto-, espacio absoluto, se mostraba siempre independiente de la velocidad de la Tierra.

Un viaje en la ecuación dilatoría de Lorentz

En este sistema de ecuaciones o Transformación de Lorentz, podemos advertir (en la ilustración del viaje interestelar a Vega) que la dilatación temporal solamente se manifiesta de forma acusada cuando opera con velocidades relativistas, lo que bien podemos llamar como velocidades cuasi lumínicas. Cierto es, que en nuestro mundo cotidiano para velocidades pequeñas con respecto a la de la luz, la relación v/c resulta un valor muy insignificante, de manera que el resultado de la propia raíz cuadrada toma un valor muy próximo a 1. La dilatación temporal derivada de nuestras velocidades domésticas es totalmente inapreciable, -inocua-. En nuestro mundo ordinario no apreciamos perturbaciones temporales. Por tanto, desde nuestras física casera bien podríamos continuar operando con la ecuación o Transformación de Galileo, donde existía la idea de un tiempo y un espacio absolutos, y el valor relativo era la velocidad de la luz. En otras palabras, si usted

regresa de un viaje intercontinental de 17 horas, sus amigos y familiares que han permanecido en reposo en el sistema Tierra, para nada van a apreciar en usted -al bajarse del avión- el más mínimo rejuvenecimiento con respecto a ellos. Pues en nuestra vida diaria, en nuestras velocidades, no se nos manifiestan criterios contradictorios de dilatación temporal, resultan valores imperceptibles. Los problemas y las paradojas surgen cuando un sistema referencial (nave espacial) se desplaza a velocidades muy próximas a la de la luz. De ahí, que en la ecuación o Transformación de Lorentz el intervalo temporal dentro de la nave empieza a experimentar y disparar su valor dilatorio temporal cuando la velocidad nave «v» alcanza valores muy cercanos y afines (en décimas) a la velocidad de la luz. Cabría recordar que todo cuerpo o partícula constituida de materia «clásica» jamás puede alcanzar, ni sobrepasar, la velocidad de la luz (se lo impide su masa). De hecho, todo fotón de luz, en su desplazamiento a la velocidad de la luz, siempre adopta su condición de onda electromagnética y nunca viaja como corpúsculo de masa (dualidad onda-partícula del fotón).

Taquiones, agujeros de gusano y Hollywood

La ficción literaria y cinematográfica siempre ha desbordado la imaginación cuando divaga sobre la eternidad, los viajes en el tiempo, los viajes más rápidos que la luz, la comunicación cuasi instantánea por medio de agujeros de gusano, la teleportación cuántica y los infinitos universos en paralelo. Muchos de estos experimentos mentales están abocados a una física más especulativa que teórica. Estas idealizadas máquinas del tiempo para viajes cósmicos ultra rápidos, superlumínicos y los viajes al pasado que nos proponen las películas, *Regreso al futuro*, *Star Trek*, *Stargate*, *12 Monkeys* o la trilogía *La guerra de las galaxias*, son ficción Hollywood, ni siquiera conforman ningún concepto matemático serio.

Pero tanto el público como los guionistas desean identificarse con los mismos protagonistas durante toda la trama y no ver al tataranieto de Harrison Ford llegando al centro de la galaxia o a la vecina estrella *Alpha Centauri*. Los guionistas para evitar este exceso de protagonistas multigeneracional requieren de ficticios modelos de transporte mucho más rápidos que la luz, para ir de un lado a otro del universo o, incluso, el viajar a tiempos pasados. Pero la propia naturaleza y todos los principios físicos asentados sobre la materia «clásica» que conocemos, impiden alcanzar y superar la barrera absoluta de la velocidad de la luz. Acercar una partícula de masa real o «clásica» a la velocidad de la luz requiere cantidades ingentes de energía, a más, de adquirir un aumento considerable de su masa, $E=m\cdot c^2$. Únicamente desde el perfil del fotón u otras ondas electromagnéticas (ausentes de toda masa) se logra alcanza la velocidad de la luz en el vacío.

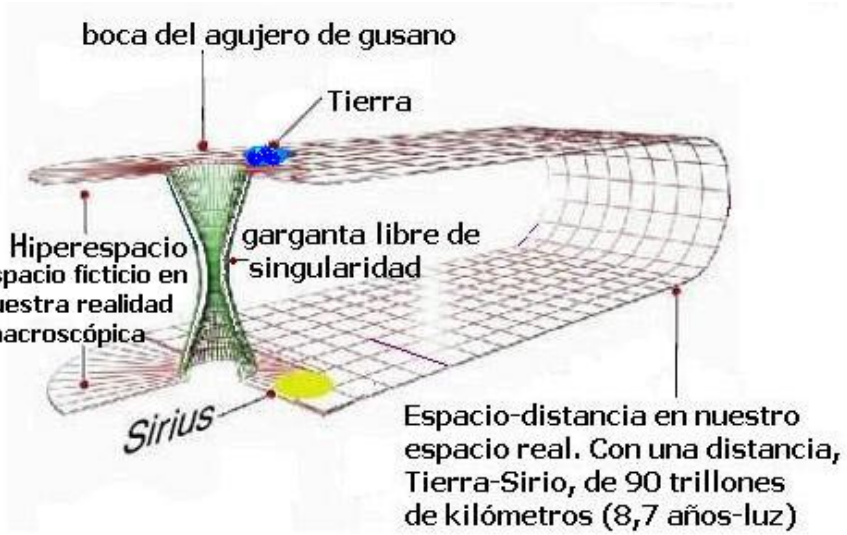
Entendemos por materia «clásica» o convencional aquella que sus partículas elementales presentan masa positiva (o cuasi nula). Su antónimo se llama materia «exótica», constituida de masa negativa o antimasa.

Aclaremos de una vez que el concepto, Máquina del Tiempo, no viene determinado por la nave tecnológica, en sí, sino que lo definimos como el valor de disfunción relativista del vector «tiempo» que es capaz de generar un sistema respecto a otro. Llámese un sistema móvil *Spaceship Orionis Megaluminic Express*, o bien, un sistema estático *Mi Adosado al Horizonte Cygnus-X-1*, un sistema estático adosado a la línea del horizonte de un agujero negro, donde el vector «tiempo» tiende al infinito (dilatación temporal por efecto gravitatorio). Este sistema estático también actúa como Maquina del tiempo.

Taquiones, ¿partículas superlumínicas?

El taquión (gr.= rapidez, veloz) fue planteado y bautizado por Geral Feinberg, en su artículo *On the possibility of faster-than-light particles* [Physical Review. v.159 (1967)], y fueron definidas como partículas hipotéticas, altamente especulativas, que se moverían siempre con valores por encima de la velocidad de la luz. La propuesta de su existencia radicaba en que tales partículas superlumínicas no violan el principio o teoría de relatividad especial, siempre y cuando su masa sea negativa (antimasa) o masa «imaginaria», pues recordemos que toda masa real derivada de la materia «clásica» tiende a infinito cuando ésta más se aproxima a la velocidad de la luz.

Matemáticamente los taquiones son aceptables, pues no hay principio físico de la naturaleza que impida que una onda-partícula (ausente de masa) se desplace a mayor velocidad que la luz. Ahora bien, ¿toda presunción -no prohibitiva- otorga indicios de existencia?. Estos taquiones de existencia no probada se situarían siempre por arriba de la barrera de la luz e imperativamente tendrían que poseer masa negativa, «imaginaria», es decir, que pesen mucho menos que la nada. Estamos hablando del valor imaginario de la raíz cuadrada de un número negativo (i= -1) y donde nuestra calculadora convencional inoperablemente resuelve como error. Pero esto ya es la matemática de los números y unidades imaginarias (i), un subconjunto de los números complejos que, al contrario del número real, no representan cantidad. Por tanto, el mundo de los taquiones nos mostraría propiedades y «realidades» muy distintas al comportamiento de una partícula de masa ordinaria («clásica») perteneciente a nuestro universo real.



Como particularidad matemática cuanto más energía adquiere (o se le suministra) a un taquión más lentamente se desplaza éste. Si el taquión adquiere una energía infinita, éste reduce y frena su velocidad hasta la de la luz, barrera inferior infranqueable para los taquiones. A este respecto existe una imaginativa y muy controvertida analogía que dice: Si una onda fotónica (lumínica) tolerase que subiésemos encima de ella, en nuestro viaje tendríamos el tiempo dilatado al infinito; entonces ¿el subirnos encima de un superlumínico taquión supondría retroceder en el tiempo?.

Ciertamente, también hay que recordar que en el año 1968 también los quarks (y neutrinos) fueron propuestos como partículas altamente especulativas, pero con la diferencia que los *quarks* (partículas elementales para la subestructura del protón y el neutrón) eran requeridos -necesarios- en la naturaleza subatómica, como constituyentes básicos del protón y el neutrón, mientras que los hipotéticos taquiones resultan prescindibles. Desde 1973 los físicos, entre ellos, Roger Clay y Philip Crouch han estudiado los efectos de las lluvias energéticas de rayos cósmicos secundarios, resultado de la colisión de rayos cósmicos primarios con los átomos de las capas superiores de la atmósfera. Si estos taquiones existieran ya se hubiesen hallado partículas post-colisión que llegarían a la superficie terrestre con una mayor antelación que el rayo cósmico primario. Ninguna de estas experiencias y registros en las lluvias de rayos cósmicos ha podido detectar un solo taquión. Digamos que desde nuestra perspectiva óptica de la realidad de la luz, irracionalmente, registraríamos primero la llegada del hipotético taquión antes que la propia colisión que lo originó, allá, en la alta atmósfera.

Pero nuestra concepción visual está asentada por debajo de la velocidad de la luz y toda esta conjetura de los taquiones nos enfrenta a situaciones ilógicas y antiintuitivas, donde pueden surgir múltiples paradojas temporales, donde el suceso C antecede al suceso A, donde puedo retroceder en el tiempo y matar a mi madre antes de yo ser concebido (paradoja del matricida). La utopía de subirnos a estos superveloces taquiones de masa «imaginaria» o negativa para viajar, tanto al pasado como al futuro, son, hoy, modelos basados en la especulación literaria y de muy poco fundamento científico. Es más, violan el principio de causalidad (la causa siempre antecede al efecto), también enunciado como Conjetura de protección cronológica según Stephen Hawking.

En la novela *Endimión*, de Dan

Simmons, se utilizan estrechos haces taquiónicos como sistema de comunicación superlumínica para, así, mantener un contacto mucho más directo entre las flotas del Imperio de Pax, dispersas por toda la galaxia.

La ubicuidad de los gatos cuánticos

Hagamos una somera introducción en el desconcertante mundo de la mecánica cuántica. Ciertamente a nivel de la realidad nanocuántica, el comportamiento y las propiedades de las partículas del mundo subatómico, muestran aspectos muy turbadores, irreales, antiintuitivos, incluso de comportamiento fantasmagórico, y que consiguen trastornar nuestra percepción de la realidad macroscópica, es decir, su comprensión altera nuestra concepción del mundo real. Pero este desconcertante mundo *Quántum* que se describe como probabilidades, algebra y números «imaginarios», genera consecuencias muy sorprendentes y, no menos, filosóficas: «Existe y hacemos más profundo nuestro universo cada vez que hay alguien que lo observa y lo mesura», la observación es la que materializa y aflora la realidad. Dicho en otras palabras: Si nuestro universo real carece de observadores, también carece de realidades. Nuestras realidades cotidianas, la entidad de los sucesos y las cosas, surgen cuando existe un observador que con su visual materializa y concretiza una sola realidad donde antes de la observación eran tan sólo ondas probabilísticas dentro de un abanico de todos los estados simultáneos posibles a nivel cuántico. La observación es la que materializa, extrae y convierte en entidad real, una u otra posibilidad que anteriormente coexistía como conjunto (o superposición) de virtuales ondas probabilísticas. Recordar que el gato de la paradoja de Schrödinger desde una dimensión cuántica (sin observadores) permanece, a la vez, vivo y muerto. En 1925 el matemático Schrödinger idealizó encerrar un gato durante 7 días en una caja opaca, con su plato de alimento y, de otro lado, su plato de letal veneno. No será hasta el preciso momento cuando el observador se dirige a verificar la experimentación, cuando en ese instante de interferencia (visual) se reducen las ondas probabilísticas y se concretizan en una sola de ellas, materializándose en nuestro mundo real como una sola realidad, o vivo o muerto. Pero, mientras, en el intervalo de esas 168 horas el gato ha permanecido en dos estados virtualmente simultáneos, vivo y muerto.

El mundo cuántico está exento de realidades tangibles, la mayoría de sus postulados sólo se manifiestan desde la expresión del álgebra y el probabilismo. Definir la mecánica cuántica es describir las leyes de la naturaleza que rigen el vacío. Un vacío repleto de propiedades y valores siempre negativos, «imaginarios» y virtuales. Su hábitat empieza en la frontera de nuestra «nada», allí, donde nuestra materia ordinaria y nuestro tiempo se desvanecen, bajando a esa dimensión de la llamada espuma cuántica, en el nivel de 10^-33 centímetros (o menor), donde la geometría permanece indefinida, abstracta y en estado probabilístico.

Digamos que por encima del mundo cuántico, desde nuestra realidad cotidiana o macroscópica, los gatos no atraviesan impunemente las paredes (efecto cuántico de túnel). Como tampoco, el gato que está sobre la cama se desvanece súbitamente en el vacío cuántico y, al instante, reaparecer de la nada en el centro de la galaxia Andrómeda (principio de incertidumbre de Heisenberg para toda onda probabilística o partícula virtual). Incluso que nuestro gato simultáneamente se encuentre en dos habitaciones a la misma vez (principio de superposición cuántica de la onda). Como también el que haya un espécimen de gatos interestelares capaces de comunicarse instantáneamente entre ellos (propiedad del entrelazamiento cuántico). La experimentación en física fundamental nos dice que estas partículas, electrones y gatos cuánticos manifiestan un «exclusivo» comportamiento en el preciso instante de percatarse que les están mirando (fenómeno de interferencias cuántica). En cierta ocasión ya lo dijo Einstein, si los postulados de la mecánica cuántica fueran correctos, el mundo permanecería enloquecido. Más contundente fue el matemático y físico británico Roger Penrose en su libro "La nueva mente del emperador" (1989), al preguntarse si en nuestra realidad macroscópica, nuestra conciencia y nuestras voluntades son totalmente libres, o bien, nuestras propias decisiones pueden quedar,

Kip S. Thorne (2003)

Arrastrándose a través de un hipotético agujero de gusano muy corto. Extraído de la indefinida geometría del vacío cuántico 10^{-33} centímetros y ampliado al mundo macroscópico. Se mantiene abierto con el continuo suministro de energía Casimir, de masa-energía negativas, lo llamamos materia <exótica>. Resulta un transporte instantáneo, pero el colapso será inminente con nuestra presencia de materia <clásica>.

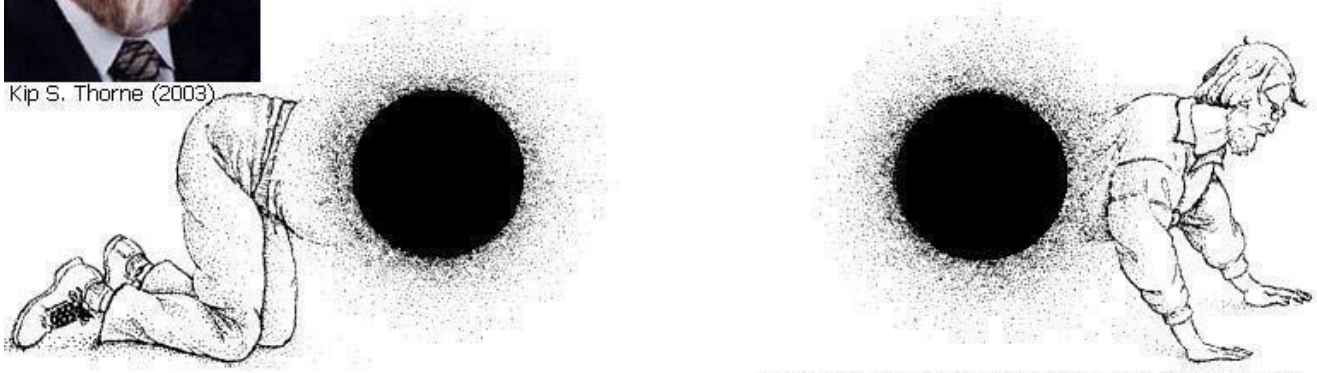


Ilustración cortesía de Kip Stephen Thorne, 1994

de alguna forma, predeterminadas y sometidas a cierto tendencionismo cuántico, dentro de ese abanico de «realidades» o ondas probabilísticas.

Sin embargo, y volviendo a nuestro mundo real, cotidianamente utilizamos tecnología y componentes electrónicos basados plenamente en estos desconcertantes comportamientos de la física cuántica, como son los transistores, semiconductores y, más actualmente, se emplean unos dispositivos electrónicos en que, precisamente, sí se basan en partículas que pasan a través de barreras materiales (cabezas lectoras de disco duro) y para el desarrollo de modernas técnicas de computación informática, donde una unidad *bit* de información, a la vez, puede valer simultáneamente como dijito 1 y 0. Indudablemente mucho futuro tecnológico derivará del conocimiento cuántico.

Los pares ERP, ¿ «paquetes» de información instantánea?

Los pares ERP, efecto conocido como entrelazamiento, o enmarañamiento, cuántico. Donde todas las experimentaciones avalan que las partículas de los pares ERP se transfieren mutuamente (entre ellas) funciones y estados de onda en «paquetes» de información y a velocidad instantánea. Es decir, a nivel cuántico existe la comunicación instantánea de pares ERP, independientemente a cualquier distancia. Conocemos que toda partícula «clásica», llámese neutrino, fotón de luz o electrón, nunca pueden sobrepasar la barrera de la velocidad de la luz, sin embargo, estos «paquetes» de información que transfieren o emiten los pares ERP, sí pueden.

Los pares ERP resultan extraordinariamente atractivos como base de un sistema de comunicación instantánea basado en la propiedad del entrelazamiento cuántico que exhiben estas partículas de pares ERP, en virtud de la cual lo que le sucede a una de ellas le sucede instantáneamente a la otra. De acuerdo con la mecánica cuántica si escindimos (fisionamos) una partícula constituida por dos protones y cada uno de éstos los aceleramos por trayectorias distintas, si, a cierto tiempo, a un protón lo hacemos colisionar contra un blanco, una consecuencia instantánea e inevitable será que el otro protón acuse una frenada. Es decir, las partículas del par ERP mantienen, entre ellas, una continua e instantánea transferencia de información de sus propiedades y estados posibles. El protón en colisión transfiere de forma instantánea su momento cinético al otro protón, manifestando éste una repentina frenada y la susurrante alocución: "¿Qué le habéis hecho a mi compañero?".

Esta fantasmal transferencia de información instantánea e independiente de la distancia a que se encuentren separadas las partículas del par ERP, fueron propuestas de una forma hipotética por Einstein, Rosen y Podolski en 1935 (de ahí las siglas en su honor). De una forma más didáctica podemos decir

que es como hacerle cosquillas a una de las partículas del par ERP y, al mismo instante, oír las carcajadas que emite la otra partícula, separadas ambas en la infinidad del espacio. Aunque nos parezca que esta propiedad telepática raye lo esotérico, este efecto del entrelazamiento cuántico de pares ERP es una experimentación comprobada y repetida en laboratorio.

El entrelazamiento cuántico entre partículas pares de ERP resulta muy atractivo para producir mecanismos de teleportación cuántica instantánea. En 1993 se anunció que un laboratorio francés de física fundamental había consumado la teleportación cuántica de un fotón. Existieron muchas dudas sobre este logro. De hecho, este éxito sólo residía en que el proceso sólo tenía que teleportar una única propiedad o particularidad del fotón, -su polaridad-. Pero este mecanismo de teleportación cuántica prohíbe que el objeto, átomo o molécula puedan ser teleportados de forma integra. Primero hay que desconfigurar la materia, llámese objeto, átomo o molécula y luego codificarlo en «paquetes» de información que viajarán hasta el punto de destino, donde un operador de esta estación aplicará la transformación correspondiente para descodificar la información y reconfigurar el mismo objeto, átomo o molécula motivo del transporte. Enfaticemos: Lo que viaja y se teleporta nunca es el objeto o la materia, en sí, sino la información codificada del mismo.

Agujeros de gusano y máquinas del tiempo

Cuando hablamos e idealizamos viajes al futuro nos referimos a crear un sistema, por medio de un agujero de gusano, por el cual un observador (en reposo) advierte y visualiza sucesos futuros (venideros) que están ocurriendo en el interior de otro sistema de referencia donde reside la boca-salida del agujero de gusano, llámese interior de nave relativista (véase ejemplo ilustrativo de la casa-jardín > nave). También se considera viajar al futuro la propia acumulación de dilatación temporal con respecto a un observador en reposo (Tierra) sin estar sometido a ninguna fuerza de gravedad. A este respecto caben dos procedimientos para frenar o dilatar el flujo del tiempo: el desplazamiento a velocidades relativistas o cuasi-lumínicas (teoría Especial de la Relatividad) y la convivencia sobre intensos campos de gravedad, como agujeros negros y estrellas de neutrones (dilatación temporal por efecto gravitatorio, teoría de la Relatividad General).

Los agujeros de gusano fueron propuestos en 1916 por el físico Ludwig Flamm como una segunda solución a la ecuación de campo de Einstein: «La singularidad de un agujero negro podría conectar, -rasgando el espacio-tiempo perteneciente a otras regiones distantes del universo, o de otros universos-, abriendo una garganta de salida que la llamaríamos agujero blanco». En 1935, Einstein y Nathan Rosen estudiaron más a fondo la teoría de las conexiones intra- o inter-universos.

En un sencillo símil podemos decir que un agujero de gusano es una especie de «tubería» que se abre en una vía de atajo por medio de un hipotético hiperespacio que consigue conectar diferentes y distantes regiones del universo. A nivel teórico no hay duda que para construir agujeros de gusano y mantenerlos abiertos y transitables como operativas máquinas del tiempo, se precisa involucrar la unión entre la mecánica cuántica y la teoría de la Relatividad General o gravitación.

El interés por los agujeros de gusano navegables (transitables) tomó auge en 1988 con el trabajo publicado a principios de ese verano en la revista *Physical Review Letters*, con el artículo, "Agujeros de gusano, máquinas del tiempo y la condición débil de energía", firmado por Mike Morris, Kip Thorne y Ulvi Yurtsever (MTY) del Instituto de Tecnología de California, quienes anunciaron que para crear y poder mantener abierta la garganta de un agujero de gusano se requería de materia «exótica». Es decir, de masa y energía negativas, y que con la tensión mecánica generada por esta densidad negativa mayor, se mantendría abierta y estabilizada la garganta. Como concepto mental digamos que cuando hablamos de masa y energía negativas es como intentar imaginar «algo» que pesa (y empuja) menos que la nada. Este artículo surgió por una solicitud a Kip Thorne hecha por Carl Sagan quien estaba dándole vueltas a la cabeza en la manera de como poder transportar a la heroína de su novela "Contact" (1987) [y guión cinematográfico en 1997], la astrónoma Eleanor Arroway en un viaje interestelar a través del hiperespacio,

por medio de un agujero de gusano que experimenta un transporte instantáneo. Construyendo su boca de entrada en la Máquina de Hokkaido (Japón) y la otra boca de salida ya estaba creada (por otra civilización) en la playa de un planeta hipotético del sistema estelar de Vega (a 26 años-luz) hacia el centro de nuestra Vía Láctea. Un viaje de ida y vuelta de tan solo 20 minutos, incluyendo el tiempo del reencuentro con su padre, fallecido cuando Eleanor era pequeña.

Hay que explicar que si en nuestro comedor creásemos un corto agujero de gusano y una de sus bocas se la llevase una nave interestelar a la estrella Vega, la conexión temporal es directa e instantánea. Es decir, el tránsito y la información por el interior de la garganta o túnel no adquiere demora temporal, el tiempo está interconectado. Si yo, ahora, en el comedor de mi casa empiezo a meter la cabeza por la boca del agujero, en tiempo real y al mismo instante, emerge por la otra boca (en la nave) mi flequillo o la punta de la nariz. Otra cosa distinta es que la garganta tolere el paso de mi materia «clásica».

Desde la definición de la métrica primordial en la teoría de la gravitación de Einstein, conocemos que: «La concentración de materia-energía dice al espacio-tiempo como debe curvarse y el espacio-tiempo dice a la materia-energía como debe moverse». Esta métrica contiene toda la información sobre la geometría del espacio-tiempo y que obedece siempre a la concentración de masa-energía. De esta forma es como hemos podido entender y solucionar las estrellas en colapso, los agujeros negros, las cuerdas cósmicas y las membranas de dominio. Curiosamente, los agujeros de gusano no figuran en esta lista. ¿Por qué no?, la respuesta está en la peculiar

propiedad que presenta la materia y energía «exóticas» (no clásicas) que precisa todo agujero de gusano para su génesis y sostenimiento. Para evitar este colapso o estrangulamiento de la garganta, el agujero de gusano se ha de comportar como una lente «divergente» (efecto contrario al de una lente gravitacional donde convergen los rayos). Para ello, en la misma garganta del agujero de gusano, los rayos de luz o partículas tienen que ser dispersadas gracias a la llamada condición débil de energía, facilitando, así, que el túnel o garganta no presente singularidades ni colapsos. Por tanto, los agujeros de gusano precisan de la condición de energía débil en el vacío, lo que anteriormente ya habíamos dicho, una densidad de energía negativa que genera, a la vez, una fuerza de gravedad repulsiva y que evitará el propio colapso de la garganta y mantendrá su transitabilidad. Un buen candidato para suministrar y confinar estas cantidades ingentes de materia «exótica» y de energía y densidades negativas, indispensables para mantener abierto la garganta del agujero, es el llamado efecto o energía de Casimir. El efecto Casimir, probado en laboratorio, es una energía sacada, intrínsecamente, del mismo vacío, y consiste en situar dos espejos sumamente juntos (acoplados), de tal modo que la separación entre las placas sólo permita la aparición, por resonancia, de un determinado tipo de partículas virtuales provenientes del mundo nanocuántico y que como resultado de su concentración y hacinamiento junto a los fotones de luz (en un mar de antimateria o antimasa), se consigue crear una alta densidad de energía negativa. Es decir, el efecto Casimir consigue generar campos energéticos de masa-energía negativas y densidad-presión negativas. Todos estos conceptos cuánticos, de antimateria, antimasa y demás magnitudes de valor negativo, son sinónimos de lo que llamamos materia «exótica».

Sabemos que desde la distribución de la materia «clásica» ningún agujero de gusano puede surgir como una solución a la ecuación o puente Einstein-Rosen empleando solamente materia «clásica», seria como idealizar de forma rudimentaria la construcción de un agujero de gusano a partir de la unión de dos agujeros negros, aniquilando mutuamente sus singularidades para, así, abrir el «tráfico» entre las dos gargantas. Pero tendríamos que ingeniárnoslas para manejar objetos de al menos 10^4 masas solares y una circunferencia en la garganta de unos 10^5 km, pero todo esto resulta tecnológicamente inviable. Además que la solución del puente Einstein-Rosen también prohíbe toda transferencia de materia «clásica» por la garganta de agujero. Otra solución para crear agujeros de gusano sería el bajar a la dimensión del mismo vacío cuántico donde, intrínsecamente, se generan altas densidades de energía negativa y es, desde este nivel manométrico de la llamada espuma cuántica (dimensión espacial probabilística a escalas de la longitud de Planck-Wheeler de 10^-33 centímetros y/o menor), donde podemos ser capaces de hallar y extraer agujeros de gusano de vida muy fugaz. Pues a este nivel nanocuántico de esta estructura espacial probabilística se cree que una infinidad de ultra pequeños agujeros de gusano están continuamente apareciendo y desapareciendo de forma burbujeante y fugaz. Con ello, los físicos MTY sugirieron que una civilización lo suficientemente avanzada podría expandir y aumentar uno de estos pequeños nanoagujeros de gusano hasta un tamaño macroscópico inyectándole presión y materia «exótica» generándola con el efecto o energía de Casimir y, así, conseguir ensanchar y estabilizar la garganta para su operativa transitabilidad. Finalmente, las bocas podrían ser transportadas a regiones bastamente separadas en el espacio y proporcionar, así, una forma de comunicación y transporte más rápido que la luz. Pero para desarrollar todo este proyecto necesitamos de una civilización infinitamente avanzada para que descienda hasta la espuma cuántica y, allí, descubra y consiga extraer uno de estos nanoagujero de gusano, para luego ampliarlo hasta un tamaño clásico en nuestra realidad macroscópica. ¿Qué probabilidades de éxito conllevaría este experimento?, ¿Hay algún margen de éxito?. NINGUNO por ahora. ¿Se puede localizar un nanoagujero de gusano en una burbujeante espuma cuántica, definida ésta, como espacio virtual y de estructura espacial probabilística?, ¿Tanto presta el vacío?.

Ciertamente las leyes de la gravedad cuántica nos ocultan la respuesta de si los agujeros de gusano pueden, en un futuro, con-

vertirse con éxito en máquinas del tiempo. Aunque Stephen Hawking también afirma que estas idealizadas maquinas del tiempo rompen el principio de causalidad (paradojas cronológicas o del matricida), proponiendo el mismo Stephen Hawking su propia conjetura de protección cronológica, quien aseguraba: «En el caso hipotético de crear una máquina del tiempo, utilizando como soporte un agujero de gusano, jamás esta máquina conseguirá retroceder en el tiempo más atrás de su fecha de creación». Y continua diciendo Hawking: «La naturaleza y sus leyes físicas aborrecen las maquinas del tiempo, la naturaleza del universo requiere de una protección cronológica que la mantenga a salvo de malvados y especulativos historiadores. Cada vez que uno trata de hacer una máquina del tiempo y utilice como dispositivo para su intento un agujero de gusano, inmediatamente antes de que el dispositivo se convierta en una máquina del tiempo, un haz de violentas fluctuaciones electromagnéticas del vacío (continuas inestabilidades de energía que se presentan como oscilaciones aleatorias, impredecibles e ineliminables) circulará a través del dispositivo y destruirá el agujero de gusano». De esta forma, según Stephen Hawking, la naturaleza y la historia permanecerán blindadas de toda conjetura y paradoja cronológica.

A toda costa, hemos de evitar el sensacionalismo divulgativo, pues existen infinitas consideraciones antes de pretender construir máquinas del tiempo con las que pretendamos viajar a velocidades superlumínicas o instantáneas. Además, el valor mismo de la velocidad de la luz es una barrera absoluta e infranqueable que la naturaleza impone a todo nuestro universo macroscópico constituido de materia «clásica».

Epílogo sobre las Máquinas del Tiempo

En nuestro mundo ordinario sabemos que para viajar a la velocidad de la luz, la partícula o nuestro mismo cuerpo, tienen que carecer de masa. También sabemos que para romper y sobrepasar la barrera absoluta de la luz con velocidades superlumínicas, las leyes físicas nos imponen que nuestro cuerpo, partícula o molécula, tengan que poseer antimasa y energía negativa, es decir, reconvertirnos en materia «exótica». Un concepto donde nuestra masa ha de pesar menos que la nada. A fecha de hoy, las pretendidas máquinas del tiempo presentan una clara inviabilidad teórica. Estos sistemas de máquinas del tiempo todavía siguen siendo experimentos mentales y entelequias para soporte literario.

Sin embargo, desde la dimensión o «realidad» nanocuántica, cabe que en un futuro el conocimiento cuántico nos permita crear algún modelo operativo de teleportación cuántica donde, intrínsecamente, el transporte es instantáneo, pero con el imperativo que nos tenemos que desconfigurar para codificarnos en «paquetes» de información.

Bibliografía:

-Revista, Tribuna de Astronomía nº 140/141 (julio-agosto 1997). Artículos: *Viajar por el tiempo*, de Juan Pérez Mercader, y *Anatomía de un agujero de gusano*, de David Hochberg.

- Kip S. Thorne (1994), «Agujeros negros y tiempo curvo». Capitulo 14, -Agujeros de gusano y máquinas del tiempo-. Ed. Crítica, Barcelona, 1995.

- www.bibliopolis.org/cromo/ , Cromopaisaje –Pon un gato cuántico en tu vida-, de Cristóbal Pérez-Castejón.

Máquina del tiempo, de la película "Time Machine" basada en la novela de H. G. Wells, según Dave Cornivo