

¿QUÉ ES UN “EVENTO” EN RELATIVIDAD ESPECIAL?

Oscar Orellana¹

RESUMEN

En este artículo se discute críticamente la noción de evento tal cual se usa en los libros de física que presentan la teoría de la relatividad especial.

INTRODUCCIÓN

(1) No olvidemos, por una parte, que “La Teoría Especial de la Relatividad” (en cuanto y en tanto teoría, tal cual se presenta en los libros de física), primero es cinemática y después dinámica. Es decir, primero es una forma de medir tiempos y distancias en el cono de luz, usando la luz y sus propiedades como base de tales mediciones, y posteriormente se sacan las consecuencias y se hacen aplicaciones dinámicas (ver cualquier libro de física que trate el tema, como por ejemplo: “The Feynman Lecture of Physics” de R. P. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands; “Mechanics” de K. R. Symon, y “A Course of Theoretical Physics” de A. S. Kompaneyets). De hecho, la observación de ciertos detalles cinemáticos obliga posteriormente a concluir ciertos detalles de la dinámica, como por ejemplo la reformulación y/o modificación de la ley de adición de velocidades (incluso, en mecánica clásica no relativista, uno concluye que la energía y el momentum son cantidades que se conservan en los procesos dinámicos debido a la invariancia de las leyes de movimiento bajo traslación tanto de tiempo,

¹ Departamento de Matemáticas Universidad Técnica Federico Santa María

como de posición, respectivamente. Esto se formula usualmente en el formalismo de Lagrange mediante lo que se conoce como Teorema de Noheter). Ahora: (a) que fue primero (desde el punto de vista histórico-pragmático durante el proceso de descubrimiento de la teoría de la relatividad especial): la cinemática o la dinámica ; (b) si la teoría especial de la relatividad es más cinemática que dinámica o viceversa; (c) e incluso si realmente se pueden separa la cinemática de la dinámica de manera dicotómica en la teoría especial de la relatividad o en general; no son cuestiones que discutiremos aquí, porque no son relevantes para el análisis crítico que haremos en las presentes notas. Pero, en cualquier caso no existe una separación absoluta entre cinemática y dinámica (tanto desde el punto de vista práctico, como teórico), más bien se complementan, entretienen y apoyan una en la otra durante su desarrollo y aplicación. Por otra parte, de acuerdo a las propias palabras e intenciones de Alberto Einstein, se trata de rescatar las nociones de espacio y tiempo del “limbo del a priori kantiano” en que las dejaron los filósofos, para traerlas de vuelta a la física, y poder decidir empíricamente (observacional y experimentalmente), cual es la estructura geométrica del espacio-tiempo (ver: “Geometry and Experience” de A. Einstein). Por ello que, A. Einstein habla de “geometría práctica o pragmática” (la cual, contempla la existencia de una “correspondencia” entre los objetos reales y los objetos geométricos, interpósitos los conceptos de “cuerpo rígido” y “aproximadamente rígido”), y no de “geometría pura”. En el caso de “La Teoría Especial de la Relatividad”, se podría decir que a nivel fundamental existe una “correspondencia absoluta” entre la luz (es decir, entre las propiedades y modelos de la luz), y la correspondiente geometría, porque ésta, la geometría de la relatividad especial, esta hecha de luz. En este sentido, la geometría espacio-temporal especial de Einstein es básicamente física.

(2) Los principios o postulados de “La Relatividad Especial” son dos, a saber: (2.1) toda ley física que se cumpla en cualquier sistema coordenado, debe también cumplirse en cualquier otro sistema coordenado que se mueva a velocidad constante con respecto al

primero, y (2.2) la velocidad de la luz es una constante universal fija “ c ” relativa a cualquier sistema coordinado, independientemente de si la fuente de luz esta en movimiento o no. Es sabido, que a partir de estos principios un observador puede construir un sistema de referencia con el cual se identifica completamente, es decir un observador no es una sola persona localizada en un punto del espacio provisto de un reloj, si no más bien es un conjunto infinito de personas, cada una ubicada en un punto del espacio, todas con relojes sincronizados con los relojes de las demás personas, de modo que para cada “evento” que ocurre y/o emerge en ese sistema coordinado, siempre hay una de esas personas localizada suficientemente (infinitesimalmente) cerca de la posición del “evento”, para así considerar la posición de las manecillas del reloj y el evento como “eventos simultáneos”, y por otra parte, que es necesario encontrar una transformación de coordenadas invertible (las así llamadas transformaciones de Lorentz), que nos permita pasar de un sistema coordinado a otro y viceversa. En consecuencia, no se puede, ni se deben usar las coordenadas espacio-temporales (x,y,z,t) o el cudri-vector (x,y,z,ct) obtenidos por un determinado observador para identificar “un evento”, como base de una supuesta identidad subyacente de acuerdo con la cual todos los observadores ven el mismo hecho o fenómeno. Dicho de otra manera, si la palabra, o noción, o concepto de “evento”, significa, apunta, o tiene como referente la mismidad, o entidad, o cosa en sí, o hecho, o fenómeno en que todos los observadores están de acuerdo que ven y/o identifican, independientemente de su sistema coordinado; entonces un “evento” no puede ser un conjunto de cuatro números, porque a riesgo de ser majadero: “los eventos” además de ser vistos por todos los observadores, deben ser idénticos para todos los observadores. Así las cosas, “el evento” no es en sí los cuatro números de posición-tiempo señalados más arriba, pero es representado en cada sistema de coordenadas (bajo ciertas hipótesis, aproximaciones, neutralizaciones y consideraciones provisionales) por una “cuádrupla” como la expresada más arriba, y las transformaciones de Lorentz debieran relacionar las coordenadas de “un mismo evento” obtenidas (medidas) en diferentes

sistemas de referencia. Pero, esto nos plantea un problema epistemológico, a saber: ¿Qué es un “evento” en Relatividad Especial?, ¿Cuál es la base subyacente común a todos los observadores, que le da sentido a la búsqueda de una transformación de coordenadas (invertible), y les permita conversar, es decir traducir mediciones, datos, hechos, observaciones y fenómenos de un sistema al otro y viceversa?, ¿Qué tienen en común todos los sistemas coordinados?, ¿Qué hay debajo, si es que hay algo, de todos los sistemas coordinados, que nos permita pasar de uno a otro por medio de una transformación de coordenadas “con sentido”?, ¿Cuál es la mismidad subyacente a la cual los distintos observadores le asignan diferentes coordenadas espacio-temporales? Puesto que no existe un sistema coordinado y/o de referencia privilegiado y/o universal y lo único que tenemos a mano (de acuerdo a los principios y/o postulados de la Relatividad Especial), es la “luz y sus propiedades” (además de observadores como los descritos al comienzo de este párrafo), no tenemos más alternativa que echar mano a ella (la luz y sus propiedades), para buscar una respuesta a las preguntas planteadas.

Sin embargo, conviene dejar claro desde un comienzo, que a pesar de que la pregunta del título del presente escrito y las que acabamos de formular tienen un “tufillo” esencialista, no estamos interesados en buscar y encontrar una definición de que “es” un evento como cosa en sí, si no más bien una definición pragmática, práctica, operacional, es decir que aclare como usar y debiera usarse la noción de “evento” en relatividad especial.

DESARROLLO

A esta altura de los tiempos pareciera que solo existen dos tipos de cosas en el mundo, a saber: objetos y procesos. Los primeros (a lo mejor o tal vez), se pueden explicar completamente haciendo una lista de sus propiedades, mientras que los segundos solo se pueden explicar contando una historia. Para los procesos no basta con hacer simplemente una descripción, porque los procesos se dividen en fases, las cuales a su vez están compuestas por “eventos”. Sin embargo, no

son los meros “eventos” los que acarrear la información. Una mera lista de “eventos”, además de ser aburrida, no constituye una historia, lo que hace una historia es la conexión entre los “eventos”. En física es “la dinámica” la que relaciona los eventos, “la dinámica” es la que “dice, dicta o explica” por qué después de un determinado evento sigue este otro, “la dinámica” es la que “dice, dicta o explica” por qué esa debe ser la secuencia de eventos y no otra, y la “secuencia de eventos” así obtenida es la historia. Así las cosas, los causantes de los “eventos” futuros son dos cosas: los eventos pasados (que en lenguaje técnico llamamos condiciones iniciales) y la ley dinámica (que en lenguaje técnico llamamos ecuación diferencial). La causalidad así entendida es la que hace útil una historia. ¿Quién le hizo qué a quién, cuándo, dónde, cómo y por qué?, es muy importante e interesante, porque así llegamos a saber acerca de las consecuencias que siguen a las acciones y los “eventos”.

Entonces, pareciera que desde el punto de vista ontológico, existen dos tipos de cosas en el mundo. Existen objetos como las rocas, los platos, las bolitas, etc., que simplemente son, y que tal vez podamos explicar completamente haciendo una lista de sus propiedades, y por otro lado, existen cosas que solo se pueden comprender como procesos, los cuales a su vez solo se pueden explicar contando una historia. Para las cosas de este segundo tipo, nunca es suficiente una descripción simple, porque estas entidades se desenvuelven generando un espacio-tiempo que les pertenece de suyo y no en el espacio-tiempo como si éste último fuera una cosa en sí, que sirve para ordenar las diferentes fases y eventos del proceso de acuerdo a posiciones espaciales y un antes y un después absolutos y ajenos al proceso mismo. Pero, estrictamente hablando no existen dos categorías de cosas en el mundo: objetos y procesos. En efecto, lo que existe son procesos relativamente lentos y procesos relativamente rápidos, e independientemente de si el proceso es corto o largo, la forma adecuada (o la mejor forma que tenemos), de explicar un proceso es contando una historia. Desde este punto de vista, el universo consiste en un número gigantesco de “eventos” relacionados entre si, y un “evento” se puede pensar como la parte más

pequeña de un proceso, una pequeña unidad de “cambio”, pero no el cambio que le está ocurriendo a un objeto estático, y tampoco es un cambio que está ocurriendo dentro de un espacio considerado como recinto, y ordenado temporalmente de acuerdo a un antes y un después ajenos al proceso. El “evento” es ni más, ni menos, que **“una porción infinitamente pequeña del cambio procesual de algo, que se presenta o manifiesta espacio-temporalmente de manera puntual por medio de un donde y un cuando”**, es decir al evento le pertenece de suyo (como nota propia), el donde y el cuando, el espacio-tiempo. En efecto, al pensar y modelar el universo como un único y gran proceso, éste (el universo como proceso), crea el espacio-tiempo y en consecuencia le pertenece de suyo. En otras palabras, el espacio-tiempo si es que es algo, es una propiedad, una nota propia, que le pertenece de suyo al proceso universal y no al revés. Consistentemente, esta propiedad se traslada a la noción de “evento”, es decir el evento viene espaciado y temporalizado, solo que de manera infinitamente pequeña (puntual) y en consecuencia tiene o posee “un donde” y “un cuando”.

Por cierto, lo que acabamos de expresar es una posición metafísica, tan metafísica como la que un sistema de referencia está constituido por infinitas personas (cada una de ellas provista de un reloj sincronizado con los relojes de las demás persona que constituyen el sistema de referencia), y aún que no se pueda demostrar experimentalmente, a nosotros nos parece que esta es la posición metafísica consistente con la teoría especial de la relatividad. Por otro lado, al menos cumple con el servicio de ser un principio ordenador, que sin caer en el dogmatismo puede ser remplazado por otro principio que lo haga mejor.

Un universo de “eventos” es un universo respectivo, relacional, relativo, es decir, todas sus propiedades deben ser descritas por medio de relaciones entre “eventos”. Por lo tanto, “un cambio pequeño”, “un evento” se mide usando otro cambio, otro evento de manera respectiva y/o relativa (por ejemplo, en relatividad especial, el tiempo que se le asigna a un evento que aparece en el cono de luz de un determinado observador es el que marca el reloj infinitamente cercano al evento en cuestión, en otras palabras se realiza una estricta coordinación entre los

eventos que se van sucediendo en el cono de luz y la posición de las manecillas del reloj más cercano a cada uno y todos los eventos que componen una historia (una sucesión de eventos), en el correspondiente sistema de referencia, o como lo dice A. Einstein en “Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento”: Si yo digo, ese tren llega a las siete, lo que intento decir es algo así como: “La posición de las manecillas de mi reloj en las siete y la llegada del tren son sucesos simultáneos”) , y de acuerdo a lo dicho más arriba, la relación más importante que pueden tener dos “eventos” es la relación de “causalidad” definida por la dinámica.

Así las cosas, “un evento” en relatividad especial no es un fenómeno, ni un hecho observable, ni un acontecimiento, menos aún un objeto o una cosa, si no que un **“cambio mínimo (puntual), “de algo”, que ocurre y/o aparece súbitamente en una posición e instante determinados en el “cono de luz” de un observador premunido de una fuente luminosa, en este sentido se trata “de un donde, cuando y que cambio mínimamente, puntualmente”**. Pero, de acuerdo a lo dicho en el primer párrafo de la presente sección y estrictamente hablando “el evento” no define completamente el cambio (aun que este sea infinitesimal). De hecho, si suspendemos y/o neutralizamos “el que”, “el evento” tiene como notas propias tan solo “un cuando y donde puntual”. Entonces, el cambio lo “dicen, dictan, explican y definen” principalmente la ley dinámica y mínimamente las condiciones iniciales, donde las condiciones iniciales son los eventos iniciales sin los cuales no se podría determinar el cambio (la sucesión de eventos, la historia), que los incluye como punto espacio-temporal de partida. Sin embargo téngase presente, que en la teoría en comento, un cambio se modela, describe y representa como una sucesión o secuencia continúa de eventos, es decir el cambio esta hecho de eventos a nivel infinitamente pequeño (puntual). Entonces, si bien es cierto que el evento no define el cambio completamente, si es de lo que esta hecho el cambio, en este sentido el evento es cambio, pero no lo define totalmente.

Ahora, si suspendemos, o neutralizamos el “que”, “un evento” se reduce a un “cuandon”, no a un “cuandonque” (es decir, a “un cuando y donde se produjo un cambio mínimo, puntual”, sin “el algo”, sin “el que”), el cual ocurre y/o aparece súbitamente en una posición y momento determinados en el “cono de luz” de un observador premunido de una fuente luminosa. De acuerdo a lo expresado en los párrafos precedentes, más apropiado sería decir que “un evento” es un “quedoncuan” o “doncuan”, según se neutralice o no se neutralice el “que”, porque como hemos señalado previamente, el cuando y donde, el espacio-tiempo es una nota de la realidad y en consecuencia le pertenece de suyo al proceso, le pertenece “al algo que esta cambiando”. En otras palabras, lo real es “el que”, el cual a su vez trae consigo o genera las notas propias (o propiedades que le pertenecen de suyo) de: “el donde” y “el cuando”. Esta es la apuesta de la física relativista aún que después neutralice “el algo, el que” quedándose aparentemente tan solo con el “cuandon” o “doncuan”, para reintroducir “el algo, el que” posteriormente como de contrabando. En efecto, desde el punto de vista de las transformaciones de Lorentz, lo que ellas transforman de un sistema de referencia a otro (de un observador a otro), son la representación o descripción (interpósitas las correspondientes mediciones espacio-temporales de algo, que hace cada observador), que cada uno de ellos hace de “el cuando” y “el donde” de algo, en sus respectivos sistemas de referencia, dejando invariante el evento, el algo, el que, su cuando y su donde.

Obviamente, el ejemplo paradigmático (para ser enfáticamente redundante), de este tipo de “evento” es una señal luminosa de cortísima duración (la cual llamaremos de aquí en adelante “evento elemental”), porque (de acuerdo a los postulados de la teoría especial de la relatividad), la luz, su velocidad y propiedades es lo único que se tiene al comienzo. Pero, obviamente también deben haber observadores, lo cuales no pueden ser luz, ni estar cambiando constantemente, porque, entre otras cuestiones, debe ser posible “ver” a un observador en reposo, desde otro observador, y alguien tiene que hacer la descripción de la luz. Por lo tanto, al comienzo tenemos observadores y luz.

Además, si un observador usa la luz para construir su sistema de referencia (una grilla) con la cual procede a identificarse completamente en el sentido señalado en la introducción, entonces podrá asignarle coordenadas al “evento elemental” (es decir, 4 números) e identificarlo con ellas, y si tenemos más de un observador identificados con sus correspondientes sistemas de referencia, entonces las diferentes coordenadas del mismo “evento elemental” medidas por los distintos observadores se pueden traducir unas en otras por medio de las transformaciones de Lorentz.

Para enfatizar la existencia observadores que no cambien, note que para definir el cambio de coordenadas, no puede ser que todo cambie, porque entonces no hay cómo definir cambio: alguien y/o algo debe identificar lo que cambia y el evento que sea invariante (lo invariante), y ese alguien y/o algo es el observador u observadores.

La identificación que hace un observador de un “evento elemental” con las coordenadas espacio-temporales que midió del “cuando” o “doncuan” pertenecientes a dicho evento elemental en su sistema de referencia es absolutamente consistente, porque la luz (de acuerdo a los principios de la relatividad), no esta quieta, no se puede detener. Es decir, la luz es cambio puro, la luz es el proceso paradigmático y fundante de la relatividad especial. De esto se sigue que, si en la intersección de los conos de luz (debidamente coordinados) de dos observadores distintos emerge un “evento elemental” como el descrito, entonces estarán de acuerdo que ven el “mismo e idéntico evento” (es decir, verán el mismo e idéntico cambio luminoso mínimo), pero no le asignarán las mismas coordenadas. Esta última observación es importante, porque si no ven el mismo e idéntico “evento” no tiene mucho sentido buscar, encontrar y proponer el correspondiente cambio de coordenadas que permita traducir mediciones de uno al otro observador (y viceversa) acerca de un “evento” que no es idéntico para ambos observadores. En consecuencia, las así llamadas transformaciones de Lorentz, presuponen una realidad subyacente igual e idéntica para ambos observadores y en principio solo “traducen” las diferentes cuadruplas asignadas por distintos observadores a un mismo

“evento elemental”, que como “evento elemental” debe ser idéntico para ambos observadores desde el punto de vista físico, de lo contrario y a riesgo de ser majadero no existe base física ninguna para las transformaciones de Lorentz. En otras palabras, “el conjunto de los eventos elementales” debe ser homogéneo, uniforme y el mismo para los dos observadores, donde los “eventos elementales” son determinados y definidos por la luz. Entonces y por de pronto, en relatividad especial “los eventos elementales” que registra un observador, solo pueden ser pequeños cambios hechos de luz.

Por lo tanto, dando por sentada la existencia de observadores inmunes al cambio, no solo la velocidad de la luz debe ser constante y la misma para todos los observadores, sino que también se necesita que “el conjunto de los eventos elementales” sea el mismo para todos ellos. Entonces, dándole “una vuelta de tuerca más” al asunto, si nos preguntamos, “bajo la luz” de las transformaciones de Lorentz, cuales son “los eventos” que dos observadores pueden considerar como iguales e idénticos (por ejemplo, no afectos a contracciones y/o dilataciones), para constituir “el conjunto de los eventos elementales”, es decir una especie de espacio-tiempo físico, básico y fundamental no coordinado aún. Solo nos quedan los pulsos luminosos de cortísima duración (pequeños cambios de luz), cambios físicos, que no tienen dimensión (puntuales) y en consecuencia no sufren contracciones longitudinales, ni dilataciones temporales. Bueno, esto es lo que se supone por principio y/o postulado que no le pasa a la luz, porque su velocidad es la misma constante “ c ” en todo sistema de referencia y en consecuencia sirve como “piedra de tope” (como absoluto) y base de una identidad común a todos los observadores, y también sirve para que cada observador construya su sistema de referencia y se identifique completamente con él.

CONSECUENCIAS

(1) De acuerdo a la discusión previa, se puede decir (que en el experimento del muon-tierra), ni el muon en movimiento, ni la tierra en movimiento, son “una secuencia de eventos elementales”. De hecho, si

uno considera al muon como una pequeña esfera, entonces cuando este se encuentra en movimiento y la tierra quieta, el primero se debe ver como un pequeño elipsoide desde la tierra (cuyo semieje menor esta en la dirección del movimiento y los semiejes mayores están en el plano perpendicular a la dirección del movimiento), y si uno considera a la tierra como una esfera, entonces cuando esta se encuentra en movimiento y el muon quieto, entonces la tierra se debe ver como un gran elipsoide desde el muon (cuyo semieje menor esta en la dirección del movimiento y los semiejes mayores están en el plano perpendicular a la dirección del movimiento), debido (en ambos casos) a la contracción del espacio en la dirección del movimiento. Además, si uno considera una sección longitudinal del muon o de la tierra en movimiento (obtenida intersectando el muon o la tierra con un plano que contenga la línea de mundo que los une), las diferentes partes de esas secciones no serán vistas simultáneamente ni por la tierra, ni por el muon, respectivamente. En el experimento muon-tierra, ni el muon quieto (es decir, cuando el muon aparece en el horizonte visual de la tierra), ni la tierra quieta (es decir, cuando la tierra aparece en el horizonte visual del muon), son estrictamente hablando “eventos elementales”, porque en ambos casos de acuerdo a lo dicho en los párrafos anteriores no se puede suspender, ni neutralizar, “el algo, o que cambió” gratuitamente. De hecho: (a) la tierra no es luz, ni el muon tampoco, y (b) la tierra no es un punto espacio-temporal, ni el muon tampoco. Además, sin “algo o que” no hay “cuando”, ni “donde”. En consecuencia, para poder considerar al muon quieto o la tierra quieta como “eventos” y al muon en movimiento o la tierra en movimiento como “secuencias de eventos”, se necesitan algunas consideraciones, suposiciones, aproximaciones, neutralizaciones e hipótesis adicionales, que nos permitan dar el paso para poder aplicar la teoría especial de la relatividad. Tales aditamentos deben ser explicitados y explicados, porque (por ejemplo) no se entiende bajo que punto de vista, cuando la tierra se mueve en dirección al muon, esta pueda ser considerada como un “evento” y/o “una sucesión de eventos” y no una esfera solida que debido a los efectos relativistas se ve como un elipsoide que se

aproxima al muon a gran velocidad, sin mencionar los problemas de simultaneidad de las diferentes partes de la tierra vista desde el muon.

En otras palabras y por ejemplo, las preguntas son: (a) ¿bajo que hipótesis, aproximaciones, consideraciones provisionales, abstracciones y neutralizaciones se puede considerar a la tierra quieta como “un evento”, y a la tierra en movimiento como “una sucesión de eventos”, respectivamente?; (b) ¿bajo que hipótesis, aproximaciones, consideraciones provisionales, abstracciones y neutralizaciones se puede considerar a uno y otro mellizo, en la paradoja de los mellizos, como “un evento” y “una sucesiones de eventos”, respectivamente?; (c) ¿bajo que hipótesis, aproximaciones, consideraciones provisionales, abstracciones y neutralizaciones se puede considerar a “una regla” moviéndose con velocidad “v” respecto de un sistema coordinado, como “una sucesión de eventos”?, y (d) así la lista de preguntas “eventualmente” podría continuar indefinidamente.

La respuesta a tales preguntas no son triviales, de hecho no existiría respuesta si nos quedáramos tan solo con la primera parte de la definición de evento dada en el segundo párrafo de las consecuencias, es decir si definiéramos evento como **“una porción infinitamente pequeña del cambio procesual de algo”**, porque en **“el cambio procesual de algo”** no hay referencia explícita alguna a “un donde” y “un cuando”. Mejor dicho en **“el cambio, en cuanto y en tanto cambio procesual de algo”**, si bien es cierto se hace referencia en términos generales o vagos a “un algo o que”, no se hace referencia a: “un donde”, o “un cuando”, porque estas (el donde, el cuando, son notas propias de la realidad, del cambio, del algo o que). En un universo como un conjunto gigantesco de eventos y/o sucesiones de eventos, el donde, y el cuando le pertenecen de suyo “al algo o que”, y los distingue un supuesto observador, que por lo demás (como lo hemos dicho más arriba), tiene que escapar al cambio, es decir tiene que ser inmune al cambio, pero esto, estrictamente hablando no es posible, porque “ningún nadie se puede bañar dos veces en el mismo río, por al menos dos razones, a saber: (a) porque el río cambia (el río es un proceso), y (b) porque el bañista también cambia (el bañista también es

un proceso)”. A no ser, claro esta, que empecemos a hablar de un observador eterno o cuasi-eterno, y un río trascendente. Lo cual ciertamente no esta prohibido. Pero, constituyen postulados adicionales a los dos postulados citados en el punto (2) de la introducción, y contravienen la idea de que todo es proceso. En otras palabras, tenemos un dilema: o trabajamos con objetos y cosas; o trabajamos con procesos; o trabajamos con objetos, cosas y procesos explicando como los objetos y cosas se transforman en procesos y viceversa, sin mencionar la introducción de un postulado absolutamente necesario que garantice la existencia de observadores que no cambien.

Hablando más radicalmente, en un universo como un conjunto gigantesco de eventos y/o sucesiones de eventos, no existen: ni los relojes, ni las reglas, ni los espejos; porque solo existen los procesos, las fases de éstos y su correspondiente descomposición en eventos. Entonces, debemos preguntarnos: ¿Cómo en el gran y único proceso llamado universo, descompuesto en un conjunto gigantesco de eventos y/o sucesiones de eventos, emergen los relojes, las reglas y los espejos que se mencionan en los libros que tratan sobre relatividad especial? Obviamente hay quiebres, fracturas y omisiones en la forma de hablar y escribir que exhiben los “supuestos expertos” en relatividad especial. Estos quiebres, fracturas y omisiones generan gran confusión, la cual obviamente debe ser resuelta con un caminar más pausado y completo, que permita tapar los hoyos y construir puentes entre una orilla y la otra (entre objetos o cosas y procesos, bajo la hipótesis adicional de que existen observadores que persisten como tales en el tiempo). Por lo tanto, no tenemos derecho a hablar gratuitamente en relatividad especial de relojes, reglas y espejos. Por ello en una primera aproximación es conveniente y apropiado trabajar con la definición provisional de “cuandonque” o “quedoncuán” para “un evento” (**es decir, como una porción infinitamente pequeña del cambio procesual de algo, que se presenta o manifiesta espacio-temporalmente de manera puntual por medio de un donde y un cuando**), como modelo de este último, y bajo la hipótesis de que existen observadores que no cambian, ni son afectados por el cambio,

ni afectan el cambio (de lo contrario no existe quien observe lo que halla que observar). La definición de evento dada arriba no es completamente operacional (pero, es realista y consistente con la noción de proceso), porque, por una parte, el “cuandonque” o “quedoncuan” hacen referencia explícita a “un donde”, “un cuando” y “un algo o que” y su orden inverso, respectivamente, y por otra parte, por postulación debe existir algo o alguien que no cambia y registra el donde, el cuando y el algo o que, en ese orden o en el orden inverso. Entonces, como un primer paso en la dirección señalada, podríamos decir (por ejemplo), que en el experimento muon-tierra, cuando la tierra se considera en movimiento, que ésta (la tierra) es: “un conjunto de sucesiones de eventos”, o si Ud. prefiere “una sucesión de sucesiones de eventos”, el cual o la cual, respectivamente, bajo ciertas hipótesis, aproximaciones, consideraciones provisionales, abstracciones y neutralizaciones, o por el arte del birlibirloque colapsamos en una sola sucesión, donde evento significa “cuandonque” o “quedoncuan”. Posteriormente, bajo ciertas hipótesis, aproximaciones, abstracciones, neutralizaciones, y consideraciones adicionales, podríamos suspender, o ignorar, o despreciar “el algo o que”. Volveremos sobre esto más bajo, en la sección que sigue titulada “Respuestas Generales”.

(2) Por otro lado, en las aplicaciones dinámicas de la relatividad especial aparecen a posteriori: la masa, la energía, la fuerza, etc., porque obviamente la luz no lo es todo. Pero, la luz no tiene masa. En consecuencia, debemos preguntarnos: ¿Cómo diablo o por que arte de birlibirloque hacen su aparición (o si Ud. prefiere, emergen), la masa, la energía, la fuerza, etc., en el escenario planteado?

Nuevamente, si consideramos el universo como un gran y único conjunto de eventos y/o sucesiones de eventos, la respuesta a esta pregunta no es trivial. Requiere al igual que las preguntas anteriores dar pasos conceptuales cortos (respuestas), que permitan hacer inteligible y entendible de lo que se esta hablando.

Sin embargo y en general, incluso considerando “un evento” como “un cuandonque” o “un quedoncuan” tal cual se definido más arriba, no

vemos como de un universo como un gran conjunto de eventos y/o sucesiones de eventos en el sentido optado, puedan emerger la masa, la fuerza, la energía, los relojes, las reglas y los espejos, sin considerar hipótesis y/o principios adicionales a los dos postulados de la relatividad especial. La situación empeora aún más si partimos con “un cuandon” o “un doncuan” ignorando completamente “el que”.

(3) Si la luz es el fundamento de la identidad subyacente a todos los observadores y sus respectivos sistemas de referencia, y las propiedades de la luz (longitud de onda, frecuencia, periodo, número de onda, velocidad) son usadas para construir el sistema de referencia de cada observador (es decir, constituyen la base que nos permite definir una grilla en el interior del cono de luz de un observador dado): ¿Con que teoría se definen y con que instrumentos se miden las propiedades de la luz? Por principio y suponiendo que existe un observador trascendente, tendría que ser una teoría de los fenómeno electrodinámicos y la luz, respectivamente, es decir la luz tendría que ser el instrumento de medición de si misma. Entonces, alguien tendría que explicar como se hacen semejantes mediciones y de esa manera hacerse cargo de la pregunta: ¿Cómo se escapa de tan obvia circularidad?

RESPUESTAS GENERALES

En el presente apartado intentaremos dar respuesta a las preguntas planteadas en las consecuencias (1), (2) y (3), pero lo haremos en orden inverso, es decir primero le daremos una respuesta a la pregunta planteada al final de la consecuencia (3), y posteriormente intentaremos responder las preguntas planteadas en las consecuencias (2) y (1), y en ese orden respectivamente.

Pero, antes de responder conviene advertir, que para abordar las preguntas planteadas y hacer la lista de las hipótesis adicionales y/o auxiliares, aproximaciones, consideraciones provisionales, abstracciones, neutralizaciones, etc., requerida por la relatividad especial para ser entendida como cinemática y aplicada como dinámica, se debe echar mano al corpus teórico de toda la física clásica anterior a ella. En este sentido, sería ocioso y poco practico intentar explicitar la lista

aludida. Por ello que a continuación solo damos indicaciones generales en relación con las cuestiones planteadas, sin pretender dar una respuesta completa. Sin embargo, como veremos no se puede, ni se debe dejar de mencionar la mecánica newtoniana y las ecuaciones de Maxwell como el contexto histórico del cual la relatividad especial es deudora.

Respuesta incompleta a la pregunta planteada en la consecuencia

(3): Las ecuaciones de Maxwell envuelven la constante “ c ”, la cual tiene dimensiones de velocidad. De hecho en física se prueba que “ c ” no solo tiene dimensiones de velocidad, si no que además es la velocidad con la cual las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío. Este resultado se obtiene del conjunto de las ecuaciones de Maxwell, suponiendo que la distribución espacial de carga y corriente son iguales a cero (es decir, $\rho=0$ y $j=0$), lo cual a su vez reduce las ecuaciones de Maxwell a la ecuación de onda para cada una de las componentes del campo eléctrico y magnético, respectivamente.

Ahora supongamos que las cantidades envueltas en las ecuaciones de Maxwell han sido medidas por un observador sujeto a movimientos inerciales. Además, suponga que existe otro observador moviéndose relativo al primero a una velocidad constante “ v ”. El principio de relatividad en mecánica establece que cualquier ley física debe tener la misma forma en todos los sistemas de referencia inerciales. Entonces, debemos preguntarnos: ¿bajo que condiciones puede ser esto valido en electrodinámica?; ¿pueden las leyes de la electrodinámica ser de la misma forma en el sistema de referencia de un observador inercial (en el cual las ondas electromagnéticas se propagan en todas las direcciones con la misma velocidad “ c ”), y en el sistema de referencia de otro observador moviéndose con velocidad constante “ v ” con respecto al primer sistema de referencia?

De buenas a primeras esto parece imposible. Porque de acuerdo a ley de adición de velocidades en mecánica newtoniana, en el segundo sistema de referencia las ondas electromagnéticas se propagan con velocidad $V = c + v$, donde hemos supuesto (por simplicidad), que la onda se esta propagando en la dirección de la velocidad relativa del

sistema de referencia. Para el movimiento inverso hay que invertir el signo en la ecuación anterior, y en el caso de movimiento perpendicular las velocidades deben sumarse como vectores.

Así, en el sistema de referencia del segundo observador (el cual también se está moviendo inercialmente), la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas depende de la dirección. Pero y puesto que las ondas electromagnéticas viajeras son una de las posibles soluciones de las ecuaciones de Maxwell, ellas tendrán que ser de diferente forma en sistemas de referencia inerciales diferentes.

Por lo tanto, una de las dos siguientes afirmaciones debe ser verdadera: (a) la ley de la suma de velocidades convencional es válida y el principio de relatividad no es aplicable a los campos electromagnéticos, o (b) el principio de relatividad es válido para el electromagnetismo, y la ley de la suma de velocidades no es válida en la forma simple expresada más arriba. **La teoría especial de la relatividad significa (interposición el experimento de Michelson-Morley), optar por la segunda alternativa.**

En consecuencia, por una parte, la luz entra en la teoría especial de la relatividad como una primitiva, cuyos modelos, propiedades y características generales, se obtienen de las ecuaciones de Maxwell. En este sentido, las ecuaciones de Maxwell no solo son un antecedente, sino que un fundamento inescapable de la relatividad especial. En particular, como se ha expresado más arriba, la velocidad de la luz en relatividad especial es obtenida en el vacío y en el vacío las ecuaciones de Maxwell se reducen a la ecuación de onda, la cual consistentemente con la relatividad especial es invariante bajo las transformaciones de Lorentz, y por otra parte, la teoría de la relatividad especial (tomando en serio el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley, en el sentido de que no existe un medio subyacente (un éter) sobre el cual viajen las ondas electromagnéticas, como en los casos del sonido en el aire y las ondas en el agua), debe luchar con la ley de la suma de velocidades estándar de la mecánica newtoniana, entre otras consideraciones, para conciliar la electrodinámica con el principio de

relatividad, modificando la ley de la suma de velocidades de la mecánica newtoniana.

Respuesta incompleta a la pregunta planteada en la consecuencia

(2): De la respuesta general precedente se desprende que la relatividad especial tiene un contexto histórico, que la obliga a tomar en consideración una variedad de conceptos y leyes físicas anteriores a ella. Por lo demás, muy exitosas en sus correspondientes áreas fenomenológicas y rangos de validez. En consecuencia, en relatividad especial se debe buscar la forma de modificar dichos conceptos y leyes de manera que sean consistentes con los dos principios que ella sustenta. Así, por ejemplo, el “momentum” en relatividad especial deja de ser $p = (m \cdot v)$ como en mecánica newtoniana, para transformarse en la misma expresión, pero dividida por la raíz cuadrada de $\{1 + (v/c)^2\}$, donde “v” es la velocidad relativa de un observador inercial respecto de otro observador inercial y “c” es la velocidad de la luz en el vacío (300.000 km/seg, o 300.000.000 mts/seg). Así las cosas, conceptos anteriores a la aparición de la relatividad especial, tales como: masa, fuerza y energía; y leyes como la tercera ley de Newton (fuerza = masa x aceleración), deben ser considerados (as) y modificados (as) por la nueva teoría, para que los observadores relativistas al comparar sus mediciones, obtengan los mismos resultados bajo la transformaciones de Lorentz. En consecuencia, más o menos de esta forma son introducidos la masa, la energía, la fuerza y otros conceptos y leyes, en la teoría especial de la relatividad. Más aún, debido al “principio de correspondencia”, los conceptos y leyes de la relatividad especial se deben reducir a los conceptos y leyes anteriores a ella, cuando la velocidad relativa “v” es pequeña comparada con la velocidad de la luz “c”.

Respuesta incompleta a las preguntas planteadas en la consecuencia

(1): Más difícil es responder a la pregunta: ¿bajo que hipótesis adicionales y/o auxiliares, consideraciones provisionales, aproximaciones, neutralizaciones y abstracciones, se puede considerar en el experimento muon-tierra, a la tierra en movimiento como “una sucesión de eventos”, si el muon esta quieto?, porque requerimos que

una esfera solida relativamente grande se transforme en algo espacio-temporalmente puntual (es decir, se transforme en un “cuandonque” o “quedoncuan”), sin “el que” (es decir, se transforme en un “cuandon” o “doncuan”), y que además posea su propio cono de luz.

Bueno, si ampliamos el concepto o noción de “evento” a **“una porción infinitamente pequeña del cambio procesal de algo de cualquier naturaleza, que se presenta o manifiesta espacio-temporalmente de manera puntual por medio de un donde y un cuando”** y no necesariamente de naturaleza luminosa (evento elemental), si ampliamos el concepto o noción de “evento” a **“un “cuandon” o “doncuan” asociado a un proceso de cualquier naturaleza neutralizando y/o omitiendo “el que””** (no necesariamente luminoso). Entonces, el primer paso consiste en considerar a la tierra como “proceso” y en consecuencia como “un conjunto de sucesiones de eventos de diferente naturaleza”, o si Ud. prefiere como “una sucesión de sucesiones de eventos de diferente naturaleza” (es decir, como una sucesión de vectores, donde en cada componente de cada vector se desenvuelve una sucesión de eventos de alguna naturaleza, correspondiente a una porción infinitamente pequeña del cambio que experimenta esa parte de la tierra como proceso), con lo cual estamos a “un paso” de reducir la tierra como proceso a una sola sucesión de eventos. Pero, aquí emerge la segunda dificultad, a saber: ¿Cuál de todas las sucesiones (pertenecientes al conjunto de todas las sucesiones de eventos en que hemos descompuesto a la tierra como proceso), es la que debemos escoger y bajo que criterio? Note Ud. que si ordenamos matricialmente el conjunto de sucesiones de eventos asociadas a las diferentes partes de la tierra considerada como proceso, donde cada columna de la matriz corresponde a una de tales sucesiones. Entonces, las sucesiones de eventos correspondientes a las diferentes partes de la tierra “son horizontalmente (por fila) simultáneas”, vistas desde un observador moviéndose con la tierra, pero “no son horizontalmente (por fila) simultáneas”, vistas desde el muon quieto. **De hecho, el muon ve las diferentes partes de la tierra físicamente disgregadas o integradas**

de manera diferente a como la ve un observador terrestre, debido al problema de simultaneidad descrito en la consecuencia (1).

Pero, existe una parte de la tierra, un punto de la tierra (cuando esta aparece en el horizonte del muon quieto), que es la más cercana (o el más cercano), al muon. Pues bien esa es la parte o punto de la tierra (y la correspondiente sucesión de eventos), la que debemos considerar en el experimento muon-tierra (con el muon quieto y la tierra en movimiento), como pertinente y representativa del cambio que deseamos describir y explicar cuando la tierra esta moviéndose en dirección al muon. Finalmente, puesto que ni el muon, ni la tierra (o cualquiera de sus partes) es luz, debemos proveer tanto al muon, como a la sucesión de eventos asociada a la parte de la tierra en consideración con sendas fuentes luminosas (las cuales a su vez los provean con los correspondientes conos de luz e incluso se puedan identificar con cada uno de ellos, respectivamente). Para que esto sea posible, tales fuentes luminosas no deben afectar el movimiento de esa parte de la tierra en dirección al muon (y de ninguna otra parte de la tierra que fuere necesario considerar). Lo cual nos plantea un problema interesante, a saber: que la fuente de luz adosada a la parte de la tierra en consideración debe emitir “momenta” iguales en todas las direcciones, para que no perturbe el momentum de la parte de la tierra en consideración. Entonces, la pregunta ahora es: ¿como hace esto la luz? De acuerdo a A. Einstein la luz hace tal cosa poniendo más momentum en las ondas de longitud más corta comparadas con las ondas de longitud más larga, es decir compensa para anular los efectos perturbadores de la situación descrita.

De manera similar o análoga se tienen que tratar la aparición de: reglas, relojes, espejos, y otros objetos en relatividad especial, cuando corresponda.

Finalmente, alguien podría argumentar desde un punto de vista práctico y/o pragmático, haciendo uso y abuso de las artes del birlibirloque y prestidigitación, que tan pronto la tierra aparece en el horizonte del muon quieto, debemos reducir espacialmente la tierra a un punto, y así nos abríamos evitado todas las explicaciones dadas arriba, llegado al

mismo resultado. En efecto, si no mencionamos el hecho de que en relatividad especial no se deben pensar el espacio y el tiempo por separado y que no da lo mismo considerar el punto terrestre más cercano al muon, que su antípoda, porque se encuentran inicialmente a distancias considerablemente diferentes respecto del muon, tal interlocutor ficticio tendría razón. Pero, lo que es más importante, si hiciéramos caso omiso de las objeciones precedentes, y siguiéramos el consejo del interlocutor imaginario, por una parte, se nos ocultarían algunas de las dificultades que involucra el pensar la tierra como proceso y la correspondiente aplicación de la relatividad especial, y por otra parte, al descansar en una acción mecánica ilegítima como la propuesta, tendríamos un conocimiento más pobre de los efectos relativista y de como estos deben ser pensados para que la relatividad especial se pueda aplicar inteligiblemente.

Por otro lado, la solución conceptual propuesta en estas notas al problema planteado en la consecuencia (1), deja pendiente (entre otros problemas), el problema de enfrentar el experimento del muon-tierra de manera completa (considerando el muon quieto y la tierra en movimiento). Es decir, modelando al muon y la tierra como un conjunto de eventos y un conjunto de sucesiones de eventos, respectivamente e interactuando. Obviamente, debido a que estamos usando la aproximación lagrangiana, se debe “perseguir a cada uno y todos los eventos en que ha sido descompuesto un determinado proceso”, pero esto es imposible debido a la enorme cantidad de eventos que componen un proceso (ni siquiera tenemos el tiempo necesario para escribir todas las ecuaciones que describiría la evolución del proceso). En consecuencia, tal vez convenga pensar este tipo de problemas como flujo y adoptar una aproximación del tipo euleriana (es decir, no perseguir a evento ninguno, sino que quedarse detenido en un elemento del espacio- tiempo y examinar como las diferentes cantidades escalares y/o vectoriales (que se puedan definir bajo la hipótesis del continuo), cambian en ese “cuandon” o doncuan”), pero esta aproximación no es consistente con la teoría especial de la relatividad, porque pareciera que estuviéramos considerando el espacio

como un recinto en el cual se ubican las cosas, objetos, fenómenos y procesos y son ordenados en el tiempo de acuerdo a un antes y un después. Por lo tanto, es apropiado y pertinente echarle una mirada a la disciplina llamada “dinámica de fluidos relativista”, para ver como se abandonan las nociones de espacio y tiempo newtonianos y se hacen relativos, en ese contexto.

CONCLUSIÓN

En relatividad especial “un evento” es “un cuandon” o “un doncuan” de cualquier naturaleza, no necesariamente de naturaleza luminosa. Es decir, “un evento” en relatividad especial es **“una porción infinitamente pequeña del cambio procesual de algo, que se presenta o manifiesta espacio-temporalmente de manera puntual por medio de un donde y un cuando, en el cual se ha neutralizado y/o suspendido el algo o que”**. Entonces, por una parte, el evento no define completamente el cambio procesual a que pertenece (ni siquiera infinitesimalmente hablando), y por otra parte, debido a la neutralización y/o suspensión de “el algo o que”, no hace referencia alguna a la naturaleza del cambio, quedando tan solo “el donde y cuando” ocurrió un cambio puntual o aproximadamente puntual, lo cual a su vez, lleva a mucha gente a definir erróneamente “un evento”, como un punto particular del espacio-tiempo (como un cuadri-vector), olvidando el hecho de que la noción o concepto de evento apunta a algo que es común e idéntico a todos los observadores y que “el donde y cuando” le pertenece de suyo a la cosa, objeto, fenómeno o proceso. Así las cosas, “el evento” definido en relatividad especial como “cuandon” o “doncuan” es una abstracción, es una ficción (no la única por cierto), pero probadamente útil en lo que se refiere a la explicación de los hechos y fenómenos físicos en que las velocidades involucradas son cercanas a la velocidad de la luz. Sin embargo, note Ud. que a pesar de la omisión del “algo o que”, el evento así definido sigue siendo relativo (respectivo), en el sentido de que “el donde” y “el cuando” se miden respecto de la luz, y esta a su vez, es la base del intercambio de información entre dos observadores. Entonces, al reducir “un evento”

a una simple localización espaciotemporal (a “un cuandon” o “un doncuan”), hemos perdido toda referencia al proceso de que forma parte, incluso ya no hay proceso, y en consecuencia, solo se persiguen posiciones espacio-temporales sin identidad ninguna, donde la luz solo sirve para que dos observadores en movimiento relativo conversen inteligiblemente, porque la velocidad de la luz es la velocidad a la que viaja “la información”. En este sentido, la visión relativista del espacio-tiempo no es muy diferente de la visión absolutista. Solo que en esta última se presupone un instante presente bien definido en el cual toda la materia es simultáneamente real para todos los observadores, mientras que en la primera no existe ese único instante presente. En la visión absolutista todo el espacio es simultáneo, mientras que en relatividad especial la simultaneidad se restringe a una parte del cono de luz del observador en consideración. Lo cual a su vez implica, que un evento solo puede afectar a aquellos eventos que están dentro de su cono de luz, contradiciendo la idea de un universo orgánico en que todo esta relacionado con todo, y en consecuencia todo afecta a todo.

BIBLIOGRAFÍA

Whitehead A. N.; Macmillan, *Process and Reality*. New York, Cambridge University Press; 1929.

Deleuze Gilles; ¿What Is an Event? From the Fold, Leibniz and Baroque, translated by Tom Conley, the University of Minnesota Press, 1992.

Zubiri Xavier, *Espacio, Tiempo y Materia*; Alianza Editorial, S.A., 1996.

Hawking, Stephen W.; *La Gran Ilusión*. Editorial Critica, 2008.

Smolin, Lee, *Three Roads to Quantum Gravity* Basic Books Publisher, 2001.