

Newton, Einstein y la noción de tiempo absoluto

Nydia Lara Zavala

Andrea Miranda

Centro de Instrumentos,
Universidad Nacional Autónoma de México

INTRODUCCIÓN

Mucha gente tiende a pensar que con la teoría de la relatividad de Einstein, el concepto de tiempo absoluto de Isaac Newton quedó totalmente refutado.¹ En este trabajo nos proponemos explorar la idea de que, al menos que algo importante de lo que sostiene Albert Einstein se nos escape, esa creencia parece carecer por completo de fundamento. Para explicar esto, pensamos que es necesario revisar, antes que nada, la noción de tiempo absoluto de Newton para esclarecer su relevancia y utilidad en lo que respecta a la posibilidad de obtener una medida del tiempo. Para Newton, como lo veremos, la noción de tiempo relativo no es otra cosa que la medida del tiempo, y lo que queremos mantener es que lo que Einstein cuestiona en su teoría de la relatividad no es la noción de tiempo absoluto, sino ciertas consecuencias relacionadas con problemas de sincronía que más bien se derivan del tiempo relativo, esto es, de la medida del tiempo. Sin embargo, lo que nos interesa resaltar es que todo lo que dice Einstein alrededor de los problemas relacionados con la medida del tiempo carece de sentido si no se considera la idea de tiempo absoluto en el sentido newtoniano. Parte de lo

¹ Véase J.C.C. Smart (comp.), *Problems of Space and Time*, The Mcmillan Co., 1964.

que queremos esclarecer es que la mecánica newtoniana y la teoría de la relatividad son teorías que estudian regímenes dinámicos diferentes de la naturaleza física, pero dichas teorías son complementarias y una no contradice los fundamentos de la otra, sino que simplemente tratan temas diferentes. No obstante, debido a que sus universos de estudio tienen perspectivas distintas, muchos términos de la mecánica newtoniana sufren una modificación importante, pero no el de tiempo absoluto. Por esa razón nos parece que antes de entrar en detalles es necesario revisar primero qué es lo que nos dice Newton sobre el tiempo.

DOS NOCIONES DE TIEMPO

En sus *Principia*, Newton claramente distingue dos nociones de tiempo: el absoluto y el relativo. Sobre las características de cada uno de ellos nos dice:

El tiempo absoluto, verdadero y matemático, por sí mismo y por su propia naturaleza, fluye igual sin relación a ninguna cosa externa y con otro nombre se le llama duración [...] En contraste, el tiempo relativo, aparente y común, lo considera como una medida (exacta o inexacta) sensible y externa de la duración en términos de un movimiento, el cual es comúnmente utilizado en lugar del tiempo verdadero; como son las horas, los días, los meses, los años.²

Newton obviamente está tratando de diferenciar entre el tiempo y la medida del tiempo. Pero nótese que para que sea posible obtener una medida del tiempo, Newton se ve forzado a concebir al tiempo absoluto como un concepto que incluye dos aspectos diferentes, pero íntimamente relacionados en su teoría: el de continuidad y el de la igualdad de sus partes. Esto nos permite afirmar que el tiempo absoluto de Newton es un concepto que, por un lado, se puede considerar ontológico en términos de su continuidad y, por el otro, una especie de abstracción matemática, la cual permite hablar, sin problemas, de su igualdad. Bien entendido lo que esto implica, es claro que cuando él habla del *fluir igual* del tiempo, no está haciendo referencia a un misterioso devenir, sino que lo que quiere decir es que el tiempo, además de ser continuo, es susceptible de ser medido en unidades exactamente iguales.

² Isaac Newton, *Principia*, *Scholium*, p. 6.

La gente, sin embargo, tiende a identificar el término *fluir* con alguna especie de movimiento, pero en el caso de Newton es evidente que esta identificación es incorrecta. Para él es válido utilizar un movimiento para medir el tiempo, pero el tiempo absoluto no es identificable con un movimiento ni es en sí mismo un movimiento. De hecho, la medida del tiempo a través de un movimiento presupone la noción de tiempo absoluto.

Newton considera que el concepto de tiempo absoluto es sinónimo del de duración y lo que quiere afirmar es que la duración, como sinónimo de tiempo, tiene que ser concebida como ininterrumpida en términos absolutos. Lo que Newton quiere afirmar con esto es que la duración debe de ser entendida como continua por una simple razón: una ruptura en esa continuidad equivaldría a suponer una interrupción en la existencia del universo como totalidad y esto él lo considera simplemente absurdo. Es más, nosotros creemos que éste es el sentido de la frase que sostiene que el tiempo absoluto “fluye igual, sin relación a ninguna cosa externa”. Newton de hecho sostiene que:

La duración o perseverancia de la existencia de las cosas permanece siendo la misma, aunque el movimiento sea rápido o lento, o ninguno: por lo tanto esta duración debe de ser distinguida de lo que son sólo sus medidas sensibles.³

Esto, hasta donde entendemos, lo que afirma es que el movimiento o reposo de las cosas no afecta al tiempo, pero sin duda puede afectar la medida del tiempo, ya que normalmente dicha medida se obtiene de la observación del movimiento regular o periódico de las cosas y, como el mismo Newton reconoce, “puede ser que no haya una cosa tal como movimientos iguales”.⁴ No obstante, lo que normalmente hacemos es tomar un movimiento periódico como una unidad básica para medir el tiempo. El conteo repetido de la unidad de la medida del tiempo nos permite definir el lapso o la duración de los eventos particulares en términos numéricos. Puesto en relación con los eventos observados, el mismo conteo también ayuda a decidir cuándo son simultáneos o cuándo son sucesivos, independientemente de que la distribución y el movimiento de los objetos sean diferentes. El problema es que la unidad que utilizamos como medida del tiempo no necesariamente es exacta, por eso Newton afirma que,

³ Isaac Newton, *Principia, Scholium*, p. 8.

⁴ Isaac Newton, *Principia, Scholium*, p. 6.

El tiempo absoluto, en astronomía, se distingue del relativo por medio de la ecuación o corrección del tiempo aparente. Pues los días naturales son verdaderamente desiguales, sin embargo son comúnmente considerados como iguales y usados como medida del tiempo; los astrónomos corrigen la desigualdad que ellos pueden medir de los movimientos celestiales a través de un tiempo más preciso.⁵

La ecuación a la que se refiere Newton como aquella que corrige la inexactitud del tiempo aparente es una corrección que se basa en las posiciones de las estrellas lejanas. Pero a la vez aceptó otra forma matemática de corregir la inexactitud del tiempo aparente más interesante para el tema que nos ocupa, a saber: la que ofrece originalmente Huygens, quien a su vez se basa en los estudios del movimiento del péndulo iniciado por Galileo Galilei.⁶

El descubrimiento de Galileo consistió en darse cuenta de que, a pesar de que péndulos con distintas longitudes oscilaban con distintos periodos, aquellos que tenían la misma longitud oscilaban de manera prácticamente idéntica. Con base en esto Huygens encontró la manera de concebir un isocronismo teóricamente perfecto. Dicho isocronismo se podía definir describiendo la secuencia del balanceo del péndulo como un tipo especial de curva geométrica, conocida como el arco cicloidal. A través del arco cicloidal era posible corregir matemáticamente las diferencias del balanceo del péndulo para determinar su rango de error comparando sus distintos periodos. Con este proceder fue posible establecer, cuando menos teóricamente, un periodo de oscilación idéntico en todos los ángulos, lo que, a la vez, nos permitía averiguar qué tan precisa o imprecisa era cierta unidad de tiempo. Con base en esto Huygens, en 1656, construye el primer reloj de péndulo, con el cual logra medir el tiempo con una precisión de diez segundos por día. Desde entonces el reloj se constituyó como un instrumento de medición del tiempo sumamente confiable. Pero hay que recordar que el reloj, sea de la clase que sea, es un instrumento físico y como tal, las leyes de la física lo afectan de la misma manera que afectan cualquier otro cuerpo. Acerca de este punto volveremos más adelante, cuando nos adentremos un poco en algunos de los aspectos de sincronía relacionados con la teoría de la relatividad de Einstein. Por ahora, lo que nos interesa mencionar es que justo para poder obtener una medida precisa del tiempo, Newton requiere de varios de los conceptos que aparecen en su definición de

⁵ Isaac Newton, *Principia, Scholium*, pp. 7-8.

⁶ G. J. Whitrow, *The Nature of Time*, 1972, p. 63.

tiempo absoluto, como son: el de duración, el del fluir igual del tiempo y la idea que sostiene que el movimiento o reposo de los cuerpos puede afectar los instrumentos que utilizamos para medir el tiempo, pero no afecta al tiempo absoluto. Vamos a tratar de explicar esto.

Newton garantiza que la participación de la duración es totalmente independiente de que los cuerpos estén en movimiento o en reposo. En su teoría esto permite utilizar la misma medida del tiempo para los cuerpos que están en reposo y los cuerpos que están en movimiento. Esta última idea, como veremos más adelante, se va a tener que modificar con ciertos descubrimientos relacionados con velocidades cercanas a la de la luz, pero lo que queremos dejar claro es que esta modificación no afecta a la idea que se relaciona con la duración en términos de la continuidad del tiempo. Sobre este punto cabe recordar que con la noción de tiempo absoluto Newton garantiza que dos cuerpos alejados uno del otro participan de la misma duración, o en otras palabras, que no importa que la posición de dos cuerpos se encuentre en regiones del espacio completamente diferentes, los dos comparten exactamente el mismo tiempo. Lo que se presta a confusión es que de la combinación del tiempo y de su medida se deriva la noción de simultaneidad o la de contemporaneidad de los eventos. Para efectos de la discusión nos interesa recalcar que la noción de simultaneidad encierra dos sentidos diferentes. El primero denota existencia o coexistencia en relación con el tiempo absoluto; el segundo, refiere a la medida del tiempo desde dos sistemas de coordenadas distintas. En la teoría de Newton esta diferencia es simplemente irrelevante, pero no es el mismo caso en lo que respecta a la teoría de la relatividad de Einstein. Para que esta distinción se entienda correctamente, antes de continuar, es necesario explicar algunos detalles de la mecánica newtoniana para aclarar qué es un sistema de coordenadas y qué es lo que quiere decir que éstos se muevan a velocidad relativa uno con respecto al otro.

Cabe iniciar esta breve incursión aclarando que Newton concibe la mecánica como el arte de medir. De hecho, Newton inicia su libro *Philosophiae naturalis principia mathematica* directa y abruptamente dando las definiciones pertinentes que requiere su sistema para medir la masa, que en su teoría se define como la cantidad de materia, los movimientos de la masa y las fuerzas que conservan, resisten o alteran sus movimientos. Newton reconoce tres clases de fuerzas: la natural, que él denomina *vis insita* o fuerza innata, la impresa y la centrípeta. Pero vale la pena hacer notar que la noción de fuerza en el sistema newtoniano está íntimamente ligada al principio de inercia. Dicho principio se define como la tendencia

natural de los cuerpos a permanecer en reposo o en movimiento uniforme en línea recta cuando nada los afecta. Esta aclaración es importante porque el principio de inercia funciona en el sistema newtoniano como el patrón de movimiento que sirve de guía para decidir cuándo el sistema está moviéndose de manera *natural* y cuándo no. El papel de la *vis insita* consiste en revelar la cantidad de resistencia de un cuerpo a cambiar su movimiento inercial. La fuerza impresa, en las palabras de Newton, “consiste sólo en la acción (que cambia el movimiento inercial) y no permanece en el cuerpo una vez que dicha acción termina. Porque el cuerpo mantiene cada nuevo estado que adquiere únicamente por su inercia”.⁷ Por su parte, la fuerza centrípeta que obliga a los cuerpos celestes a desviarse de la línea recta debe concebirse como una acción continua, ya que si cesara de ejercerse, el cuerpo de manera espontánea recuperaría su movimiento inercial o natural en línea recta. Es claro, pues, que en el sistema newtoniano la noción de fuerza se deriva directamente de la de movimiento inercial y la única fuerza que parece ejercerse de manera constante en el cosmos es la centrípeta. De dicha fuerza Newton deriva la ley de la gravedad, pero Einstein, por razones que daremos más adelante, explica la gravedad sin tener que recurrir a la fuerza centrípeta, lo cual deja la posibilidad de sostener que salvo en el momento en donde una fuerza impresa modifica el movimiento inercial de los cuerpos, tanto en la mecánica como en la teoría de la relatividad los cuerpos tienden a mantener su movimiento inercial de manera espontánea.

Ahora bien, dentro del movimiento inercial Newton distingue dos clases: los absolutos y los relativos. Los absolutos son los movimientos *realmente* inerciales. Los relativos son los que dan la apariencia de ser inerciales, pero realmente no lo son. El caso de cualquier cuerpo en reposo sobre la Tierra puede servir como un claro ejemplo de lo que está tratando de diferenciar Newton. Objetos en reposo sobre ella, sólo en apariencia están en reposo, ya que es un hecho que la Tierra está en movimiento y dichos objetos al estar sobre ella, en términos absolutos, participan de su movimiento. Esto lo aclara Newton cuando afirma que “es una propiedad del movimiento que, las partes, que retienen sus posiciones dadas con el todo, participen del movimiento de esos todos”.⁸

Con esta aclaración lo que Newton quiere decir es que si nosotros utilizamos a la Tierra como nuestro *marco de referencia* decimos que un objeto que no se mueve sobre ella está en reposo. Empero, si tomamos un punto del espacio fuera

⁷ Isaac Newton, *Principia*, Definición IV, p. 2.

⁸ Isaac Newton, *Principia*, *Scholium*, p. 9.

de la Tierra como marco de referencia, es evidente que dicho objeto al estar sobre la Tierra, en ese nuevo marco de referencia, se mueve junto con ella.

Ahora bien, tanto Newton como Einstein coinciden en el hecho de que dentro de nuestro marco de referencia ningún objeto está, estrictamente hablando, en absoluto reposo, lo cual nos deja ante la situación de que, salvo en los momentos donde se manifiesta la acción de una fuerza impresa, todos los objetos que podemos observar en nuestro entorno, de hecho, están en movimiento relativo unos con respecto a otros. Esto supone que cada vez que nosotros tratamos de determinar la posición de cualquier objeto en el espacio y en el tiempo necesitamos describirlo con respecto a un determinado marco de referencia. Pero para poder medir la posición de los objetos dentro de determinado marco de referencia, necesitamos construir los instrumentos de medición que nos van a permitir determinar su posición con algún material. Normalmente elegimos materiales poco susceptibles al cambio para construir con ellos un sistema de coordenadas. Esto es así porque si se produjera un cambio en las escalas que utilizamos para medir el espacio y el tiempo correríamos el riesgo de obtener como resultado medidas erróneas. De ahí la importancia de la invariancia de nuestros patrones de medida.

Todas nuestras medidas las llevamos a cabo utilizando algún sistema de coordenadas y cada sistema de coordenadas está ubicado en un particular marco de referencia. Lo que es importante notar aquí es que el marco de referencia es ontológico, es decir, es el lugar físico desde donde observamos las cosas, en tanto que el sistema de coordenadas refiere a la elección de las unidades de medición que se utilizará para ubicar las cosas que observamos en el espacio y el tiempo desde nuestro particular marco de referencia. Lo que sostienen Newton y Einstein es que, estrictamente hablando, ningún marco de referencia se encuentra en absoluto reposo y es claro que un cambio de posición equivale a un cambio de marco de referencia. Sin embargo, si lo que queremos es mantener la invariancia de las leyes de la mecánica en cualquier marco de referencia, es evidente que necesitamos acordar un sistema de medidas fijo para hacerlo compatible con las variaciones intrínsecas de los marcos de referencia. Lo que normalmente hacen los científicos es mantener invariante su sistema de coordenadas y es éste lo que les permite medir cualquier cosa desde cualquier marco de referencia y encontrar su equivalencia en cualquier otro. Quizá un ejemplo pueda aclarar lo que estamos tratando de expresar aquí.

Consideramos dos marcos de referencia distintos que utilizan un mismo sistema de coordenadas y supongamos que estos se mueven de manera relativa uno con respecto a otro con un movimiento de traslación uniforme. Ahora supongamos

que lo que queremos hacer es medir la velocidad de un cuerpo que se mueve en uno de ellos. Lo que sucede cuando hacemos esto es que las medidas que obtenemos de la trayectoria y movimiento del objeto desde uno de nuestros sistemas de coordenadas no coinciden con las medidas que obtenemos desde el otro sistema de coordenadas. Evidentemente, nosotros no podemos estar en los dos marcos de referencia al mismo tiempo, por lo que el problema que se nos plantea consiste en encontrar una estrategia que nos permita deducir la trayectoria del cuerpo con respecto a un sistema de coordenadas, cuando en realidad sólo tenemos acceso a lo que medimos en el otro sistema de coordenadas.

Para resolver este problema en el sistema newtoniano basta conocer la velocidad relativa de los dos marcos de referencia para lograr determinar la medida de la posición y la velocidad de la trayectoria de un objeto en cualquiera de los dos sistemas de coordenadas. De hecho, la estrategia que se utiliza se conoce como la de composición de velocidades, donde la cuestión en torno a la velocidad de un objeto se reduce a sumar y restar cantidades. Un ejemplo clásico consiste en imaginar a un hombre corriendo en la cubierta de un barco a 3 km por hora. Obviamente esta es su velocidad relativa respecto al barco. Pero el barco no está en reposo, sino que se mueve, digamos, a 30 km por hora respecto a la playa. Si las velocidades del hombre y la del barco tienen la misma dirección, es obvio que la velocidad del hombre será de 33 km por hora en esa dirección visto desde el sistema de coordenadas de la persona que está en la playa y de 3 km por hora en esa dirección desde el sistema de coordenadas de la persona que está en el barco. A este proceder se le da el nombre genérico de la *transformada de Galileo*. Desafortunadamente, esta transformada no puede ser aplicada cuando las velocidades involucradas son cercanas a la velocidad de la luz en el vacío. En este caso se requiere recurrir a lo que se conoce como la *transformada de Lorentz*. Dicha transformada muestra que la velocidad resultante que obtenemos de la composición de velocidades en dos sistemas de coordenadas distintos no es la suma de sus velocidades componentes, como lo era en el caso de la *transformada de Galileo*. También muestra que si dos eventos tienen lugar en puntos diferentes de un mismo marco de referencia en un mismo instante de tiempo, estos dos eventos no necesariamente se registran como simultáneos cuando se miden en otro marco de referencia que se mueve a velocidad relativa respecto al primero.

Cabe recordar que en la mecánica de Newton se asume que la velocidad de un cuerpo no afecta nuestras medidas espacio-temporales, pero en el caso de la relatividad esta asunción no se mantiene debido a lo que se deriva de la *transformada*

de Lorentz. Lo que nos importa de todo esto es que, aunque *la transformada de Lorentz* nos permite corregir la *dislocación* de la simultaneidad que se genera por las velocidades relativas de los dos sistemas de coordenadas distintos, el cuestionamiento en torno a la medición de simultaneidad de los eventos deja abierta la idea errónea de que lo que cuestiona la teoría de la relatividad es la noción de tiempo absoluto de Newton. Sin embargo, esto no es así. Tratemos de explicar por qué.

LA REVOLUCIÓN MAXWELLIANA Y EL CONTINUO ESPACIO-TIEMPO DE EINSTEIN

Lo primero que nos parece importante mencionar es que la teoría de la relatividad de Einstein, estrictamente hablando, no se opone a la mecánica de Newton, sino que, bien entendido el problema que aborda Einstein, la teoría de la relatividad debe ser vista como una extensión de la mecánica newtoniana. Einstein comenta al respecto:

Ningún destino más justo puede concedérsele a cualquier teoría física, que el que ella misma marque como punto de introducción de otra teoría más comprensiva, dentro de la cual ella se mantiene viva como un caso límite.⁹

Lo que nosotros queremos sostener en este artículo es que el terreno dónde se desarrolla la teoría de la relatividad es justo el que Newton no sólo no logró explicar en su mecánica, sino que lo consideró como el terreno de lo *no mecánico*. Dicho terreno tiene que ver con las propiedades del éter o lo que Newton denominó el espacio vacío.¹⁰

Ahora bien, cuando se habla de un espacio vacío, normalmente se tiende a pensar en un espacio pasivo. Pero ni Newton ni Einstein concibieron el espacio vacío como algo pasivo. Newton, sin embargo, nunca pudo dar cuenta de las propiedades del espacio vacío. Esta tarea le correspondió a Maxwell, quien, basado en los trabajos de Faraday logró unificar la óptica con la electricidad y el magnetismo

⁹ Albert Einstein, *Relativity: The Special and the General Theory*, Three Rivers Press, 1961, p. 86.

¹⁰ Para una explicación más detallada sobre este punto, véase A. D'Abro, *The Rise of the New Physics*, New York, Dove Publications Inc., 1951, capítulo x y el artículo de Nydia Lara, "Materia, Newton y espacio vacío" en *El concepto de materia*, México, Colofón, 1992.

para darnos los elementos formales y experimentales que se requerían para llenar el espacio vacío de campos electromagnéticos. No obstante Maxwell reconoce que Newton:

[...] prematuramente hizo el intento de dar cuenta de la gravedad como el resultado de la presión de un medio y que, las razones que lo llevaron a no publicar sus investigaciones se debieron sólo a que se topó con el hecho de que no era capaz, a partir de sus experimentos y observaciones, de dar cuenta satisfactoria de dicho medio y de la manera como operaba para producir los más importantes fenómenos de la Naturaleza [...] ¹¹

Para Newton, como bien lo menciona Maxwell, era más que claro que la gravedad, así como la electricidad y el magnetismo deberían ser vistos como efectos de lo que acontecía en el espacio vacío. Sin embargo, para dar cuenta de sus características era necesario hacer una especie de revolución copernicana y tomar una perspectiva muy diferente a la que tomó Newton en los *Principia*. Sobre este punto vale la pena hacer una aclaración importante que curiosamente ha sido poco explorada. Desde la perspectiva de la mecánica, normalmente las cosas se explican con relación a los movimientos que exhiben los cuerpos. Esto permite evadir cuestiones fundamentales, como son, por ejemplo, el origen de la gravedad, la velocidad de su propagación de un cuerpo a otro, así como muchos de los aspectos relacionados con los fenómenos electromagnéticos. Sin embargo, cuando de lo que se trata es de dar cuenta del comportamiento de la luz, las cuestiones que parecían irrelevantes en la mecánica sobre las características del espacio vacío, se vuelven las esenciales en los estudios de óptica. Lo que está atrás de lo que sostiene Maxwell es que Newton se dio cuenta de esto, pero no por sus estudios mecánicos, sino por sus estudios sobre la luz. Por ello, no es casual que sus *Principia* aparezcan como un libro completamente acabado, mientras que su *Óptica*, que es un libro que él empezó a trabajar mucho antes que los *Principia*, finalmente acabaran con toda una serie de preguntas que Newton no fue capaz de resolver.

Es un hecho es la gravedad, así como algunos de los fenómenos electromagnéticos, se pueden explicar parcialmente observando los movimientos que

¹¹ Cita tomada por Maxwell de C. Maclaurin, (*Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*, Londres, 1948) en Maxwell, *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain*, vol. 7, 2873-2875, Londres, pp. 48-49.

exhiben los cuerpos. Pero una explicación más acabada tiene que partir de lo que acontece en el espacio vacío. Esto es lo que genera lo que nosotros estamos llamando una especie de revolución copernicana (la cual, quizá, podríamos bautizarla con el nombre de *la revolución maxwelliana*). Lo que nos interesa resaltar aquí es que mientras que en el caso de la mecánica el objeto de estudio se concentra en los movimientos de los cuerpos, en el caso de la teoría de Maxwell, que da la entrada a la teoría de la relatividad, esos mismos movimientos se estudian y explican como el resultado de los *eventos* que acontecen en el espacio vacío. Einstein comenta, comparando la mecánica con la teoría de Maxwell, lo siguiente:

Sabiendo la posición y velocidad de una partícula en un momento dado y sabiendo las fuerzas actuantes, toda la trayectoria futura de la partícula podría ser prevista. En la teoría de Maxwell, si nosotros conocemos un sólo instante del campo, podemos deducir de las ecuaciones de la teoría cómo el campo entero cambiará en el espacio y el tiempo. Las ecuaciones de Maxwell permiten que sigamos la historia del campo, así como las ecuaciones mecánicas permitieron seguir la historia de las partículas materiales.¹²

Lo que nos parece necesario aclarar es que en la teoría de Maxwell, propiamente hablando, no hay actores materiales, por eso, en la teoría de la relatividad la naturaleza de los objetos no es lo relevante. Lo que se estudia en este caso son las propiedades del espacio vacío y, al tomar la perspectiva de lo que acontece allí, varios conceptos que conformaban los cimientos más sólidos de la mecánica newtoniana sufren una fuerte modificación al adquirir un significado diferente. El ejemplo más conocido es la fusión del espacio y el tiempo, del cual hablaremos más adelante, pero hay otros. Dentro de ellos podemos destacar la unificación del *momentum* con la energía y el de fuerza con el trabajo.¹³ El concepto de masa, por otra parte, como su referencia ya no son propiamente los cuerpos, no puede definirse como la cantidad de materia, como lo hacía Newton, sino sólo como la medida de la resistencia que presenta un *cuerpo* al ser acelerado. Como resultado de esta redefinición tenemos que, conforme un *cuerpo* se aproxima a la velocidad de la luz, su resistencia a ser acelerado aumenta, lo cual se expresa en el lenguaje técnico como un incremento de su masa.

¹² Albert Einstein e Infeld, *The Evolution of Physics*, Nueva York, Simon and Schuster, 1938, p. 152.

¹³ Ver A. D'Abro, *op. cit.*, p. 80.

Para nosotras es importante resaltar que las redefiniciones de estos términos sí tienen consecuencias conceptuales y teóricas importantes. Para mencionar una, si se confundiera la definición de masa de Newton con la de Einstein, esta expresión se podría leer como la afirmación de que un incremento de la masa equivale a un incremento de su *cantidad de materia*, cuando de lo que habla Einstein no refiere a la cantidad de materia, sino a la cantidad de *resistencia* a ser acelerada.

Ahora bien, en su teoría de la relatividad Einstein sostiene que ningún cuerpo puede ser acelerado más allá de la velocidad de la luz. Es más, él propone algo más fuerte: que ninguna señal puede ser transmitida a una velocidad superior a la de la luz. En este sentido, se afirma que la velocidad de la luz es, por un lado, el límite de transmisión de señales y, por el otro, el límite de la velocidad de cualquier masa en sus dos sentidos, es decir, el newtoniano y el einsteniano. De hecho, la constancia de la velocidad de la luz deja abierta la posibilidad de definir un marco de referencia absoluto, ya que ella sirve como la velocidad relativa respecto a cualquier otro marco de referencia. En el caso de Maxwell y Einstein, el éter es visto como el marco de referencia con respecto al cual la velocidad de la luz puede obtener un valor numérico y, en este sentido, la luz funciona como un sistema de coordenadas que incluye tanto la dimensión espacial como la temporal.¹⁴ La luz, de hecho, en la teoría de la relatividad es en sí misma el flujo de información de los eventos. Por ella nos enteramos de lo que sucede o deja de suceder en el espacio y en el tiempo y medimos los acontecimientos en función de la velocidad de la luz. Las ecuaciones de Maxwell, por esta razón, siempre contienen de manera explícita la velocidad de la luz. Esto es importante porque permite tener siempre el *mismo* sistema de coordenadas para derivar lo que acontece en otros marcos de referencia que se mueven a velocidades diferentes (siempre menores) respecto a la de la luz.

Antes de seguir adelante, cabe recordar que los primeros trabajos sobre electromagnetismo se inician dentro de la visión newtoniana del cosmos. Por su particular perspectiva estos trabajos se caracterizan por considerar situaciones que podríamos llamar *estáticas*.¹⁵ Los resultados obtenidos en ellos, por razones obvias, sólo muestran el comportamiento del campo eléctrico y magnético cuando se ha alcanzado un estado estable, es decir, como fenómenos que evidentemente se interpretan sin considerar sus variaciones en lo que refiere a la medida del tiempo.

¹⁴ James T. Cushin, *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*, Gran Bretaña, Cambridge University Press, 1998, pp. 196.

¹⁵ Véanse las obras de Coulomb y Biot-Savart.

Maxwell analiza estos comportamientos bajo una visión dinámica y con ello logra establecer la teoría electrodinámica. En esta teoría los campos se analizan en pequeñas vecindades espaciales y temporales, las cuales aparecen en su teoría como funciones locales temporales. Pero lo más interesante es que el comportamiento integrado de estas funciones recrean las ecuaciones de la electrostática, lo cual establece un método que nos permite traducir ecuaciones de tipo dinámico a ecuaciones estáticas. Si esto es posible, es obvio que las teorías newtonianas y maxwellianas no son ni contradictorias ni incompatibles.

Por otra parte, cabe destacar que la forma maxwelliana de estudiar los fenómenos electromagnéticos es importante porque de su expresión matemática surge la idea que da origen al concepto einsteniano del continuo espacio-tiempo. En Maxwell, empero, aunque se incluye el tiempo en sus medidas, su registro es independiente de la del espacio. Pero para Einstein las señales luminosas funcionan en su sistema no sólo como marcos de referencias sino como el sistema de coordenadas que nos da la información del acontecer de los eventos distantes. Como la luz, físicamente hablando, necesariamente es emitida de algún lado y recibida en otro, para Einstein este hecho implica la necesidad de considerar de manera conjunta tanto la distancia como el tiempo de su transmisión. Esta consideración impide que se separe la medida del tiempo de la del espacio, convirtiéndose una y otra en un continuo conceptual y lógicamente inseparables en la teoría de la relatividad.

También es relevante mencionar que en el marco del continuo espacio-tiempo, el fenómeno gravitatorio se puede explicar como una deformación del espacio-tiempo, lo cual elimina la necesidad de recurrir a la noción de fuerza de la visión newtoniana y, en particular, la centrípeta. No obstante, el método de integración aplicado a la gravitación nos permite pasar de la visión einsteniana del espacio-tiempo, es decir, de las funciones locales temporales del fenómeno gravitatorio a la visión newtoniana de la gravedad, cosa que nuevamente muestra que las teorías no son contradictorias, sino complementarias.

Ahora bien, tomando en cuenta todo lo que hemos dicho, y si consideramos el concepto espacio-tiempo, es natural concebir que al hacer un cambio de marco de referencia no sólo la medida espacial sino la medida temporal se verá afectada por el cambio de marco de referencia. Pero hay algo más: las medidas espacio-temporales pueden sufrir modificaciones importantes cuando las velocidades son cercanas a la de la luz.

Esto nos deja ante dos problemas distintos conectados con el tiempo relativo, es decir, con la medida del tiempo. Estos problemas están relacionados con la noción de sincronía, por un lado, y la de coexistencia, por el otro, dos aspectos que Newton le atribuye al concepto de simultaneidad, pero que en la teoría einsteniana son problemas que deben verse de manera independiente.

Respecto al problema de sincronía, el hecho es que, en la teoría de la relatividad, la velocidad de la luz funciona no sólo como un sistema de coordenadas, sino como el límite de la transmisión de cualquier señal. Esto significa que la posibilidad de obtener un registro de una señal distante tiene que contemplar el lapso espacio-temporal de la transmisión de la señal desde su emisión hasta su registro. El problema se presenta cuando tenemos dos relojes, cada uno de ellos puesto en diferentes marcos de referencia que se mueven de manera uniforme uno con respecto a otro. En la mecánica clásica se asume que un reloj en movimiento no cambia su ritmo, sin embargo, cuando los sistemas se mueven a velocidades cercanas a la de la luz, los instrumentos de medición, esto es, las reglas y los relojes que nos sirven para medir los distintos eventos, se alargan o acortan dependiendo de su velocidad. Este hecho impide, por un lado, hablar de medidas simultáneas de eventos medidos en dos sistemas de coordenadas distintos y, por el otro, suponer que la medida del tiempo en la que obtenemos el registro de la señal transmitida de un lugar a otro necesariamente coincida con el tiempo del evento mismo que estamos tratando de medir. Esto nos lleva al problema de coexistencia de los eventos. Nuevamente, al tener como límite de transmisión de la información a la velocidad de la luz, la cual es finita, implica que a grandes distancias la información tarda tiempo en llegar.

Para aclarar esto, consideremos como ejemplo el caso de Betelgeuse, estrella principal de la constelación de Orión. Más o menos sabemos que la luz que vemos como Betelgeuse se originó hace 600 años, así que si el día de ayer la estrella hubiese estallado, naturalmente no estaríamos coexistiendo con ella aunque la viéramos cada noche. Betelgeuse, para el hombre común, sería interpretada como un objeto y no como una señal luminosa. Como objeto, Betelgeuse, para él, seguiría existiendo y en ese sentido pensaría que la estrella y él son coexistentes. Para el astrónomo entrenado en la teoría de la relatividad, lo que el sentido común afirma en torno a la existencia del objeto Betelgeuse, en este caso sería una creencia incorrecta. Para el astrónomo la señal luminosa que identificamos como Betelgeuse tarda tiempo en llegar a la tierra, por lo que la información del estallido de Betelgeuse, a nosotros nos llegaría hasta el año 2600. Esto implica que en términos

reales sólo podemos asegurar que hace 600 años Betelgeuse existió como objeto y que, si tenemos correcta la medida de la distancia entre la estrella y la Tierra, podemos afirmar que hace 600 años Betelgeuse efectivamente coexistió en el espacio-tiempo con la Tierra, pero que en este momento no podemos asegurarlo a pesar de que somos capaces de seguirla viendo. Para el astrónomo, empero, lo que ya no podríamos evadir es el hecho de que la percepción de la coexistencia de ciertos eventos sin duda queda subordinada a la distancia a la que estos ocurren, por lo que la teoría de la relatividad nos exige restringir la primera acepción del concepto de simultaneidad al de existencia en términos absolutos, ya que la coexistencia en términos relativos sólo se puede asegurar si tenemos marcos de referencia sincrónicos, cosa que sólo ocurre cuando los dos marcos de referencia se encuentran a la misma velocidad.

Pero lo que es importante reconocer aquí es que el discurso en torno a lo que aconteció en el pasado y lo que observamos en el presente, sólo tiene sentido semántico si se enmarca dentro de la noción newtoniana de tiempo absoluto. Lo que es claro es que Einstein podría, sin conflicto, aceptar las palabras de Newton que afirman que el tiempo absoluto en astronomía, se distingue del relativo por medio la corrección del tiempo aparente.¹⁶ El marco de las palabras de Newton evidentemente no es el mismo que el de Einstein, sin embargo, apoyando nuestra hipótesis sólo hay que entender lo que el mismo Einstein comenta sobre este asunto:

En la mecánica nosotros usamos sólo un reloj. Pero esto no es muy conveniente, porque tenemos que tomar todas las medidas en la vecindad de ese particular reloj. Si miramos un reloj distante, como podría ser a través de un televisor, siempre tendríamos que recordar que lo que vemos ahora realmente pasó antes, como pasa cuando vemos una puesta de sol y notamos que observamos el evento ocho minutos después de que aconteció. Tenemos que hacer correcciones, de acuerdo a nuestra distancia del reloj, en todas nuestras lecturas de tiempo.¹⁷

Obviamente para hacer correcciones en nuestras medidas del tiempo, necesitamos la noción de tiempo absoluto. Bien entendido el asunto, los problemas de sincronía y de coexistencia ligados al concepto de simultaneidad son conflictos relacionados con nuestras medidas del tiempo, no con la noción de tiempo absoluto.

¹⁶ Cfr: Isaac Newton, *Principia, Scholium*, pp. 7-8.

¹⁷ Albert Einstein e Infeld, *The Evolution of Physics*, p. 190.

Si esto es correcto, entonces creemos dejar demostrada nuestra hipótesis de que el concepto de tiempo absoluto no sólo no queda refutado con la teoría de la relatividad, sino que es indispensable para enmarcar los eventos relativistas de los que nos habla Einstein.

Bibliografía

Beller, M., Renn, J., Cohen, R.S., *Einstein in Context*, New York, Cambridge University Press, 1993.

Cohen, I. Bernard, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Massachusetts, Harvard University Press, 1978.

Cushing, James T., *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*, Gran Bretaña, Cambridge University Press, 1998.

D'Abro, A., *The Rise of the New Physics: its Mathematical and Physical Theories*, New York, Dover Publication Inc., 1951 (anteriormente titulado *Decline of Mechanism*, 1939, vol. I y II).

Einstein, Albert, Leopold, Infeld, *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta*, New York, Simon and Schuster, 1938.

Lara, Nydia, "Materia, Newton y espacio vacío", *El concepto de materia*, México, Colofón, 1992.

Lara, Nydia, "Newton: percepción y explicación científica", *Percepción: Colores*, México, Instituto de Investigaciones Filosóficas-Universidad Nacional Autónoma de México, 1993.

McMullin, Ernan, *Newton on Matter and Activity*, Indiana, University of Notre Dame Press, 1978.

Newton, Isaac, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, vol. I y II, traducción de De Motte y revisión de Cajori, California, University of California Press, 1966. La versión española del texto se titula *Principios Matemáticos de filosofía natural*, Madrid, Alianza Editorial, 1987, 2 vols., traducción de Eloy Rada García.

Reichenbach, Hans, *The Philosophy of Space and Time*, traducción de Maria Reichenbach y John Feund, introducción Rudolf Carnap, New York, Dover Publication, Inc., 1958.

Ridley, B.K., *Time, Space and Things*, Gran Bretaña, Penguin Books, 1976.

Russell, Bertrand, *The ABC of Relativity*, 3a. ed., New York, A Mentor Book from New American Library, 1969.

Smart, J. J.C., *Problems of Space and Time*, New York, The Macmillan Company, 1964.

Whitrow, G. J., *The Nature of Time*, Gran Bretaña, Penguin Books, 1972.