

Implicaciones filosóficas del abandono del concepto del “masa relativística”

Abstract: *It seems that in physics the concept of “relativistic mass” has been replaced by the more intuitive concept of “resting mass” such as is used in Newtonian physics. In this paper it is analyzed some of the philosophical consequences of that change. As a philosophical framework, it is used a formulation of Kuhn’s theory of science. It is argued that this formulation captures an aspect of this change of practice in physics, but at the same time it faces new problems. The main relates to his holistic conception of scientific change. Two aspects are analyzed: that first relates to incommensurability of theories such as is presented by Kuhn and the other to his conception that within a scientific theory it is elaborated a relational structure of meaning.*

Key words: *Relativistic mass. Newtonian physics. Kuhn.*

Resumen: *El concepto de “masa relativística” ha sido reemplazada por el de “masa en reposo” en los libros de texto de física. Este uso está muy próximo al newtoniano. En este artículo analizamos algunas de las implicaciones filosóficas de este cambio. Utilizamos como marco interpretativo la versión simplificada de la teoría de Kuhn. Se argumenta que esta teoría capta algunos aspectos del cambio en la práctica científica en este caso, pero que al mismo tiempo plantea algunos problemas importantes. Estos están relacionados con la visión holística del cambio científico desarrollada por Kuhn. Dos aspectos son analizados. El primero de ellos tiene que ver con las implicaciones de este*

cambio para la perspectiva de incommensurabilidad de paradigmas y el segundo con su visión de que una teoría científica presenta una estructura relacional del significado.

Palabras clave: *Masa relativística. Física newtoniana. Kuhn.*

En el III Congreso Iberoamericano de Filosofía, que tuvo lugar este año 2008 en la Ciudad de Medellín, Colombia, el profesor Orlando García presentó una muy interesante ponencia sobre el debate en torno al concepto relativístico de masa. Sirva este lugar para dejar constancia de nuestro agradecimiento a este profesor. En este artículo quisiéramos proponer un análisis filosófico del problema. Pero primero es necesario que hagamos un recuento de los factores que han llevado a ese cambio. Cambio que se describe como “rotacional”, pero que no deja de tener implicaciones filosóficas.

1. Presentación del problema

La teoría de la relatividad de Einstein sorprendió a los físicos y público de inicios del siglo XX con una teoría de los campos que variaba significativamente todos los conceptos de la física clásica. Todos recordamos con asombro las paradojas que derivan de la relatividad del espacio y del tiempo, del poder causal del espacio y de la dimensión espacio-tiempo. Todos estos conceptos cambiaron nuestra visión de la física y

de la naturaleza. Todos hemos leído las palabras con las inicia Milliř Āapek su exposici3n sobre **El Impacto Filos3fico de la F3sica Contempor3nea**: “Los conceptos cl3sicos de espacio, tiempo, materia, movimiento, energ3a y causalidad se han transformado radicalmente de poco tiempo a esta parte; aunque las palabras utilizadas por los f3sicos contempor3neos son las mismas, sus connotaciones son totalmente distintas de las de sus equivalentes cl3sicos. Apenas hay similitud entre la “materia” de la f3sica moderna y la sustancia material tradicional del periodo cl3sico, e igual sucede, en diferentes grados, con otros conceptos” (Milliř Āapek, 1973: 13).

Hemos comenzado esta presentaci3n recordando a este autor, pues compartimos con 3l el que las nuevas generaciones, al ser educadas en la nueva f3sica, casi no recuerdan la visi3n cl3sica. Recordarla es fundamental, pues, como veremos, los cambios, “presentados como notacionales” parecen ahincar en la visi3n cl3sica uno de los conceptos importantes de la f3sica relativista: el concepto de masa.

La teor3a de la relatividad parte, como seña la Kitaigorodski (1975), de dos principios fundamentales: el primero de ellos el de la relatividad, establece que las leyes de la f3sica son iguales en todos los campos inerciales de coordenadas. Esto significa que ning3n sistema inercial tiene propiedades especiales, aun cuando las medidas que podamos realizar de un sistema a partir de otro, es relativa. El segundo principio fundamental es el de la constancia de la velocidad de la luz para todos los sistemas inerciales, y por tanto, 3sta es independiente de cualquier sistema de referencia. Todos los conceptos de la f3sica cl3sica deben ser reinterpretados, deducidos, a partir de estos dos principios fundamentales. Nos interesa analizar el caso del concepto de masa relativ3stica.

De acuerdo con esta teor3a la masa de un cuerpo se ve afectada por la velocidad. Esto se deriva de la famosa ley einsteiniana $E = mc^2$ (energ3a es igual a masa por velocidad), es decir, $m = E/c^2$. M3s exactamente, $m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$. Aqu3 m_0 designa la masa en reposo. Se ha determinado un incremento importante de masa en aceleradores lineales de alrededor de 60 veces su masa en reposo. Es decir, la masa en reposo de un

electr3n es $9,1066 \times 10^{-31} \text{Kg}$, la masa acelerada es de $5,4639 \times 10^{-29} \text{Kg}$. Se trata un incremento realmente pequeo. Recordemos que la masa en reposo del prot3n o del neutr3n es 2000 veces mayor. Usualmente la masa en reposo ha sido interpretada como la masa newtoniana. Estos incrementos en la masa de un cuerpo, como ha seoalado Flores (2007) no son concebibles en la f3sica pre-relativ3stica.

Una de las consecuencias de ecuaci3n $E = mc^2$ es la equivalencia entre la masa y la energ3a, en aquellos casos en los que c^2 tenga un valor de 1. Esta equivalencia ha sido considerada como una de las claves para estimar la masa de un objeto a partir del c3lculo de la energ3a. Un caso simple es presentado por Flores (2007) y consiste en calcular los incrementos y decrecimientos en la masa de un objeto a partir de los cambios de temperatura a los que es sometido. Para una barra de oro de un kg, expuesto a un incremento de temperatura de 10°C , el incremento en la masa de es $1.4 \times 10^{-14} \text{Kg}$. Un incremento bastante bajo. Lo mismo aplicar3a cuando la temperatura baja en 10°C . Como puede observarse, lo que est3 en discusi3n es el concepto masa aplicado a los sistemas inerciales, no a los gravitacionales, y tiene, entonces, que ver tanto con las propiedades de los objetos en movimiento, como con las mediciones que haga el observador, es decir, del sistema de referencia respecto del cual hacemos la valoraci3n.

¿Cu3l ha sido el problema con este concepto de masa relativ3stica?. En los 3ltimos 25 o 30 aos ha habido un fuerte debate entre los f3sicos sobre este concepto, y esto ha llevado a un abandono, por lo menos en los libros de texto, del concepto de masa relativ3stica a favor del de masa en reposo. Varios tipos de razones han sido ofrecidas para justificar este campo. Algunos de estos argumentos son realmente muy radicales y tomados literalmente llevar3an al abandono de la teor3a de la relatividad. Queremos seoalar algunos de estos argumentos.

El primer argumento en esta l3nea es hist3rico. Remite al mismo Einstein, como ha comentado extensamente Adler (1987). Einstein no utiliz3 este concepto de masa relativ3stica sino hasta su trabajo con Leopold Infeld de 1929. Incluso en trabajos posteriores, en una carta a Lincoln

Barnett en 1948, Einstein afirma, “no es bueno introducir el concepto de masa $m = m_0/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ de un cuerpo para el cual no puede darse una definición clara. Es mejor no introducir otro concepto de masa más que el de “masa en reposo”, m_0 . En lugar de introducir m es mejor mencionar la expresión para el momento y energía de un cuerpo en movimiento” (citado en Adler, 1987). Realmente, lo que Einstein propone es un giro para hacer más comprensible el concepto de masa, aunque en realidad en la definición de momento está implicado el concepto de masa relativístico. Es decir, $p = m \cdot v$, donde m es la expresión correspondiente a la masa relativística: $F = m_0/(1-v^2/c^2)^{1/2} \cdot a$. Pero lo que Adler señala es que la introducción de este concepto de masa responde más a un accidente que a una concepción estructural de la teoría.

Como ha sido mencionado anteriormente, diferencias en la masa de un cuerpo son observadas cuando este cuerpo alcanza velocidades cercanas a las de la luz. En la mayoría de los casos prácticos, tal y como se introduce en los textos de ingeniería, no se requiere hacer uso de este concepto. Adler menciona un cambio importante en presentación del concepto por parte de Sears and Zemansky en su famosa *University Physics*. En las primeras ediciones de esta obra, encontramos lo siguiente: “esta ecuación fue predicha por Lorentz y Einstein sobre fundamentos teóricos basados en consideraciones de relatividad, y ha sido verificada directamente mediante experimentos sobre el movimiento rápido de electrones y iones”. Sin embargo, en las últimas ediciones de esta obra en las que participa Young, los autores señalan: “aunque el concepto de incremento en masa relativística es ampliamente utilizada en la literatura, puede ser malentendido. En cualquier evento no es necesario y no será utilizado en este libro” (Citado por Adler).

Uno de los argumentos para apoyar el concepto de masa relativística es la variedad de situaciones en las que éste se aplica. Por ejemplo, a partir de este concepto se puede dar cuenta del la masa transversal y de la masa longitudinal, todos ellos en concordancia con el concepto de “masa inercial”. La primera, es considerada como la razón de la “aceleración en la dirección de la fuerza”. Es decir, $F_t = m_0/(1-v^2/c^2)^{1/2} \cdot a$,

donde a es la aceleración indicada. La segunda, considera, la fuerza paralela el movimiento de una partícula o cuerpo. Es definida de manera similar, como $m = m_0/(1-v^2/c^2)^{3/2}$. Utilizando la misma expresión anterior, obtenemos la masa longitudinal de la siguiente manera: $F = m_0/(1-v^2/c^2)^{3/2} \cdot a$. Sin embargo, lo que alega Adler, en la obra mencionada, es que hay muy poca claridad en los conceptos de “masa inercial” y en estas otras derivaciones, todas las cuales adquieren su sentido a partir del concepto clásico de inercia. De acuerdo con Adler, la acepción de masa inercial incluye, o bien, la masa en reposo o bien, la masa total la cual incluye todas las energías cinéticas del sistema. De acuerdo con este autor, no tiene sentido hacer las extensiones indicadas que, aunque tienen sentido desde el punto de vista de la teoría en general, alteran el sentido que debemos darle a estos términos. En este sentido, esta extensión oscurece la claridad con la que Einstein estableció el principio de la conservación de la luz en todos los sistemas inerciales tal y como lo indicamos anteriormente.

Un cuarto argumento apunta a la asimetría entre el concepto de masa y el concepto de masa relativística. Mientras que el primero, referido, como hemos indicado a masa en reposo, tiene amplias referencias en diferentes campos de la física, incluso fuera de ella, el de masa relativística se limita dinámica de la teoría de la relatividad. En este sentido, nos encontramos ante un uso muy especializado versus un uso general. Esto debe inclinar la balanza, y así ha sucedido, de armonizar ambos usos. De esta manera, en los textos se ha llevado a cabo el reemplazo.

Quisiera finalizar esta breva presentación con otro de los argumentos, que resulta muy problemático, el cual señala que la “la ecuación $E = mc^2$ establece que la masa relativística de un cuerpo es proporcionar a su energía total, de manera que, por qué debemos usar dos términos para lo que es esencialmente la misma cantidad? Deberíamos quedarnos únicamente con energía, y usar la palabra “masa” para referirse únicamente a la masa en reposo” (Gibbs and Carr, 1990). Este argumento es presentado por estos autores, pero no compartido por ellos. Realmente, como ha puesto de manifiesto Flores (2006), la interpretación de la relación entre masa y energía no

es única, y durante los cien años de historia de la relatividad ha sido un tema recurrente de discusión filosófica. Las posiciones en este particular se agrupan en cuatro categorías: aquellos que proponen la idea que son la misma propiedad y aquellos que niegan que hablemos de la misma propiedad. Ambas posiciones se dividen en dos: aquellas que afirman que lo que hacemos es convertir una unidad en la otra, y aquellos que niegan tal conversión. No nos extenderemos en estos análisis aquí. Limitémonos a lo que afirma el argumento anterior. La afirmación de que ambos refieren a la misma cantidad es un mal entendido que no se justifica en el marco de la relatividad. Ya lo hemos mencionado, ninguna de las interpretaciones de la relatividad, asume que se de la identidad en las cantidades de masa y energía. Ambas remiten a cosas muy diferentes. Por un lado, como han señalado Bondi & Spurgin (1987), el concepto de masa remite a consideraciones espaciales, mientras que el de energía a consideraciones temporales. Las unidades que utilizamos para medir los intervalos temporales y aquellas que utilizamos para las espaciales son diferentes. En este sentido, no podemos hablar de que sean convertibles o de que expresen la misma cantidad.

2. Análisis filosóficos de las consecuencias

En esta sección nos proponemos analizar las consecuencias que derivan del cambio anteriormente comentado. Comencemos primero por un análisis de la consecuencia de adoptar la recomendación realizada en el argumento número 5, es decir, “deberíamos quedarnos únicamente con energía, y usar la palabra “masa” para referirse únicamente a la masa en reposo”. Aceptar este cambio conlleva claramente un cambio fundamental en la teoría de la relatividad. En efecto, lleva a romper la simetría de la teoría respecto a otros de los conceptos fundamentales deducidos a partir de la teoría, por ejemplo, el de tiempo y el de la relación entre masa-energía que, como muestra Kitaigorodski (1975), están directamente relacionados con la constancia de la luz.

Lo que llama la atención es que los físicos no están preocupados por refutar o por cambiar la teoría de la relatividad, sino más bien con introducir un cambio que permita armonizar, como indicamos dos conceptos de masa adhiriendo el más general de ellos. La interpretación de esta tranquilidad es difícil de establecer, sobre todo tomando en consideración que en efecto, hay cambios sustantivos en la práctica de los físicos respecto a la teoría que utilizan para comprender determinados fenómenos. Dicha sustitución significa que, para todos los propósitos, la determinación de la masa de un objeto o de un sistema, no depende del sistema de referencia que utilicemos. Como indica Peter M. Brown (2002) “si tal cantidad existe en una determinada situación, entonces, esa cantidad es aquella para la cual existe un único número representando la masa newtoniana, sin importar el sistema de coordenadas utilizado”. Lo anterior equivale a introducir otro principio de constancia en la teoría que la haría menos simple y con ello aparecerían otra serie de problemas y posibles cambios en otros componentes de la teoría, pero que no nos corresponde a nosotros analizar aquí.

Para reiterar lo dicho anteriormente, llama la atención que los físicos no están preocupados por un cambio en la teoría de la relatividad sino más bien por consideración pragmáticas. Me parece que es Kuhn el que nos puede guiar en la comprensión de estos aspectos, aunque al hacerlo también nos lleva a revisar algunas de las consecuencias de la posición del mismo Kuhn.

Como se recordará este autor introduce dos situaciones en el desarrollo de la ciencia. Está por un lado, el periodo revolucionario o paradigmático en el que se da una fuerte disputa por la introducción de una nueva visión del campo de esa disciplina. Se trata de las grandes luchas por imponer una visión alternativa a la dominante. Usualmente, este cambio de paradigma está asociado con importantes cambios en la práctica científica, en la manera de entender la naturaleza y en la determinación de los problemas fundamentales que debe resolver la teoría. Por el lado, lo que el autor denomina la “ciencia normal” que es aquella etapa que viene después de la aceptación de un determinado paradigma o matriz disciplinaria, en la que los científicos se dedican

a resolver algunos de los rompecabezas que sin preocuparse de manera significativa por los grandes dilemas que presenta la teoría. De acuerdo con Kuhn, el cambio no es el factor dominante en el desarrollo de la ciencia, sino más bien, aquellos largos periodos de paz en la que los científicos se dedican a labores más bien relacionadas con el estudio de las consecuencias empíricas y teóricas de la nueva teoría. La actitud conservativa, como la denomina el autor, es la nota característica de la ciencia normal.

Bajo esta interpretación no parece que estemos asistiendo en estos momentos a cambios comparables a los que conmovieron a la física durante los primeros años del siglo XX. No parece haber crisis en la teoría de la relatividad. Es decir, nos encontramos en una etapa de ciencia normal. Como señala (2004), refiriéndose a posición de Kuhn, “esta resistencia conservativa a los intentos de refutación de teorías claves significa que las revoluciones no son buscadas excepto en circunstancias extremas. La filosofía de Popper requiere que un fenómeno singular anómalo reproducible sea suficiente para el rechazo de una teoría (Popper 1959: 86-7). El punto de vista de Kuhn es que durante la ciencia normal, los científicos no buscan probar ni buscan confirmar las teorías guías de su matriz disciplinaria. Tampoco consideran los resultados anómalos como falsificadores de estas teorías. (...) más bien, las anomalías son ignoradas o pospuesta su explicación tanto como sea posible. Es únicamente la acumulación de anomalías particularmente problemáticas las que ponen en serio problema a la matriz disciplinaria existente” (página 5).

Así pues, parece que estamos ante una situación típica de ciencia normal en la que este tipo de problemas no desvelan a los científicos. Sin embargo, este hecho que comentamos sí debería desvelar a Kuhn ya que parece imponer algunas limitaciones a la propuesta metodológica de Kuhn para comprender la dinámica del desarrollo de ciencia. En lo que resta de esta sección queremos presentar dos problemas que plantean el caso que analizamos a esta metodología. Como es usual adoptamos la posición más cómoda de no pretender ser exhaustivos ni tampoco de proponer alternativas de solución.

Thomas Kuhn toma posición respecto a la concepción filosófica dominante en su tiempo: el positivismo lógico. En particular respecto a la suposición de que una teoría científica tiene una estructura similar a la de un lenguaje lógico. Es de hecho, un lenguaje lógico interpretado. En este sentido, una teoría puede ser analizada en sus componentes sin que haya pérdida de significado. Es decir, podemos aplicar un conjunto de reglas generales las cuales no dependen del contexto. De esta manera podemos estudiar diferentes propiedades y relaciones entre las teorías. Una de ellas es la derivación de una teoría a partir de otras ajustando determinados parámetros, por ejemplo aquellos que refieren al espacio, el tiempo, la masa en reposo, etc. En este sentido, se ha afirmado que la teoría de Newton, es un caso particular de la teoría de la relatividad. Es decir, existe una derivación D , tal que partiendo de las leyes L_1, \dots, L_n de la teoría de la relatividad y tomando los parámetros P_1, \dots, P_j , obtenemos, el conjunto de leyes N_1, \dots, N_k de Newton. Kuhn, por el contrario adopto una posición en la que los paradigmas (teorías) presentan aspectos de inconmensurabilidad, y cuestiona este tipo de supuestas derivaciones (véase Kuhn (1971): 162-165). Como señala (2004) “ el punto de vista de Kuhn es que “masa” tal y como es utilizado por Newton no puede ser traducido por “masa” como es usado por Einstein, haciendo este tipo de comparación imposible”. Sin embargo, la verdad es que los físicos, al regresar al concepto de masa en reposo newtoniano están haciendo que ambos paradigmas sean mensurables. En efecto, es posible transitar de un paradigma viejo hacia uno nuevo. Es decir, un newtoniano puede identificar y precisar el concepto de “masa en reposo” y establecer una correspondencia clara de este concepto entre las dos teorías. Esto me parece, conlleva la necesidad de revisar este nivel de inconmensurabilidad.

Existe un segundo nivel de la inconmensurabilidad que requiere también ser definida. Kuhn ha defendido que una matriz disciplinar (teoría) integra sus diferentes conceptos en una red de significado tal que la plena comprensión del significado de estos requiere necesariamente una familiaridad con la teoría en su totalidad. Es decir, el cambio en el significado de uno de los conceptos de la teoría conlleva un cambio en el

significado de los otros conceptos que están relacionados con él. El significado de un concepto depende de las relaciones de significado que se establecen entre todos los conceptos de la teoría. Este enfoque ha sido denominado “significado holista”. Pero al igual que en el caso anterior, hemos asistido al reemplazo de un concepto por otro, sin que los científicos sientan que hayan cambiado los significados de los otros conceptos de energía, tiempo, espacio que están relacionados con éste. Así pues, parece existir un nivel en el que determinados cambios en el significado de los conceptos son tolerables sin que esto produzca un caos o un “hueco de significado” en los otros conceptos. La pregunta es, ¿hasta dónde podemos llegar en este proceso de reemplazo?.

3. Conclusiones

Hemos analizado brevemente la sustitución del concepto de “masa relativístico” por el de “masa en reposo” en la teoría de la relatividad, un cambio que se alega que es de naturaleza “rotacional”. Dicho cambio no causó ningún trastorno en la práctica de los físicos del campo, lo cual puede ser interpretado como que estamos, utilizando a Kuhn, en una etapa de ciencia normal. Hay claramente interpretaciones radicales, una de las cuales hemos comentado, que no son seguidas por los físicos y que conceptualmente presenta algunos problemas. Pero al mismo tiempo

hemos señalado que este caso presenta algunos problemas cuando pretendemos interpretarlo desde el punto de vista kuhniano. Sobre todo cuando asumimos que los paradigmas son inconmensurables, pues el marco de referencia del concepto de “masa en reposo” es el newtoniano. Parece, en este sentido, transitar de un paradigma a otro en algunos de los componentes de la teoría. Pero al mismo tiempo, este cambio parece también afectar el enfoque del “significado holístico”, pues al reemplazar este concepto no se percibe que los físicos consideren que están introduciendo variaciones de significado en otros conceptos relacionados de la teoría.

Bibliografía

- Adler, C. (1987) “Does mass really depend on velocity, dad?”. *Journal of American Physics*, August, 1987. Documento disponible en Internet.
- Čapek, Millič (1973) *El Impacto Filosófico de la Física Contemporánea*. Editorial Tecnós, España.
- Brown, P. M. (2002) *On the concept of mass in relativity*. Documento disponible en Internet.
- Flores, F. (2007) “The Equivalence of Mass and Energy”. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Enciclopedia Digital.
- Kitaigorodski, A. (1975) *Introducción a la Física*. Editorial Mir. Rusia.
- Kuhn, T. (1975) *La estructura de las Revoluciones Científicas*. Breviarios Fondo de Cultura Económica. México.
- (2004) “Thomas Kuhn” *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Enciclopedia Digital.