

El lenguaje de la física: La información contenida en los conceptos métricos



Fleisner, A.¹, Ramírez, S.¹, Viera, L.

¹Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Calle 1 Roque Sáenz Peña No. 352. CP B1876XD Bernal, Argentina.

E-mail: afleisner@gmail.com o ana.fleisner@unq.edu.ar

((Received 28 May 2016, accepted 2 October 2016))

Resumen

Desde hace algunos años venimos trabajando acerca de los problemas vinculados con la comprensión del lenguaje técnico de la física que tienen tanto los estudiantes universitarios como los preuniversitarios. En el presente trabajo nos proponemos analizar de qué manera una parte muy particular de la filosofía del lenguaje, aplicada al lenguaje particular de la física, puede ser de gran utilidad para lograr una mejor comprensión tanto de los conceptos como de los enunciados en los que se ven involucrados. Es bastante aceptada entre los investigadores en enseñanza de la ciencia la necesidad del uso de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la física. Pero, si bien en la literatura al respecto se atiende a las cuestiones vinculadas con la historia y la filosofía (relaciones entre teorías nuevas y actuales, cambio conceptual, etc.), está menos desarrollado el análisis del discurso técnico conceptual de la física así como las dificultades que los estudiantes tienen para utilizarlo correctamente y significativamente. La física utiliza distintas herramientas para abordar su objeto de estudio. Un tipo muy particular de ellas son las magnitudes físicas. Las magnitudes son conceptos métricos es decir, conceptos que poseen una estructura a través de la cual es posible cuantificar los hechos, fenómenos y procesos del mundo para describirlos y explicarlos. En el modo tradicional de enseñanza de la física a nivel universitario, los conceptos métricos suelen ser presentados al estudiante desde una perspectiva puramente matemática que, muchas veces, enmascara el resto de las notas características (ontológica, experimental, contextual) de este tipo de conceptos. Argumentaremos que, esta presentación incompleta es, muchas veces, responsable de las limitaciones que luego tienen los estudiantes para comprender y utilizar el lenguaje de la física.

Palabras clave: Conceptos métricos, Lenguaje simbólico, Enunciados de la Física.

Abstract

We have been working on problems associated with the understanding of technical language in physics. In this work we analyze how a particular part of the philosophy of language, applied to physical language, can be useful for achieving a better understanding of concepts and statements in which they are involved. It is usually accepted among researchers in science education the need to use both history and philosophy of science for physics teaching. However, conceptual technical discourse of physics and the difficulties that students have to use it correctly, it is less developed. Physics uses different tools to address its subject. A very particular type of them are physical magnitudes. The magnitudes are metrical concepts ie concepts that have a structure that allows quantifying the events, phenomena and processes in the world to describe and explain. In the traditional way of teaching physics at university, metrical concepts are usually presented to the student from a purely mathematical perspective that often masks the rest of the characteristic features (ontological, experimental, contextual) of such concepts. We argue that this incomplete presentation is often responsible for the limitations that have students to understand and use the language of physics.

Keywords: Metrical Concepts, symbolic language, physical statements.

PACS: 01.55.+b, 01.40.gb, 01.70.+w

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años venimos trabajando acerca de los problemas vinculados con la comprensión del lenguaje técnico de la física –así como también en relación con la química– que tienen tanto los estudiantes universitarios como los preuniversitarios [1, 2].

Coincidiendo con lo que otros autores vienen señalando desde la investigación educativa en ciencias, hemos

observado por ejemplo: dificultades en la comprensión de conceptos, dificultades en la interpretación y clasificación de enunciados simbólicos de la física –leyes, definiciones, relaciones entre magnitudes– [3], limitaciones en los estudiantes para distinguir entre enunciados formales y fácticos [4] y dificultades para interpretar adecuadamente el significado de los formalismos matemáticos que usan [5, 6, 7, 8, 9]. En definitiva, dificultades en la asignación de

significado o “contenido físico” a los formalismos y símbolos matemáticos empleados [10, 11].

Sostenemos que estas dificultades en el manejo del lenguaje simbólico de la física están asociadas a una lectura incompleta de los enunciados de la disciplina. Se advierte una lectura literal de los términos que designan las magnitudes físicas por parte de los estudiantes que le asignan, a lo sumo, algún contenido en relación con la estructura matemática o formal que se le asocia.

Desde diversas perspectivas epistemológicas se reconoce que el significado de un concepto no se reduce a su definición: es aquí donde cabe señalar la necesidad de tener en cuenta toda la información contenida en cada concepto métrico de la física (ontológica, experimental, contextual) además de la formal o matemática.

Se observa también que los estudiantes presentan dificultades de asignación de significados de los conceptos asociadas al sistema teórico en el que se los utiliza. Por este motivo y dado que coincidimos en que el significado de los conceptos está dado por el sistema teórico al que pertenece [12, 13], entendemos que resulta fundamental hacer una presentación contextualizada de los conceptos para que los estudiantes (y los docentes) comprendan el dominio de la teoría desde la cual se los está presentando.

Por ello, además de valerse de la historia y de la filosofía de las ciencias, es necesario atender tanto a las relaciones que existen entre los conceptos de las teorías que los involucran, como del contexto de surgimiento de la nueva teoría [14].

Existe consenso entre muchos investigadores en didáctica de las ciencias, en cuanto a la importancia de la inclusión de la historia, la epistemología y la filosofía en la transposición didáctica de los conceptos científicos (Lombardi [15]).

Se sostiene que, cuando la información acerca de los contenidos tiene una escasa o nula vinculación con estas disciplinas, se refuerzan las dificultades en el aprendizaje de la misma [16, 17], y que, cuando se las incluye en la enseñanza, además de enseñarse contenidos conceptuales, se reconoce los problemas que se originaron en la construcción del conocimiento científico, las implicaciones que tuvo en la comunidad científica la formulación de las teorías o modelos, los problemas que estos solucionaron y aquellos que dejaron de lado [18].

Así se pone de manifiesto que la ciencia es una construcción comunitaria [19] que no sigue un proceso lineal y acumulativo.

Entendemos que el modo en el que se presentan las teorías, modelos, leyes y conceptos científicos (la elección epistemológica y perspectiva de acercamiento) debería servir, simultáneamente, para comprender fenómenos y para plantear y resolver problemas de dichos dominios.

Por ello, proponemos que sumar al uso de la filosofía y la historia de la ciencia, el análisis de la información contenida en unos de los conceptos fundamentales de la física (los conceptos métricos). A este respecto, hemos investigado también el problema de la referencia de los términos de género natural y en particular la referencia de los términos de magnitudes físicas [20]. Es decir, la relación

que vincula al mundo (objetos, fenómenos, procesos) con el lenguaje que usamos para describirlo. Nos proponemos presentar la noción de magnitud física, caracterizar las magnitudes físicas en general y analizar una de ellas en particular, atendiendo a su aparición en algunas teorías físicas.

En el presente trabajo nos proponemos analizar de qué manera una parte muy particular de la filosofía del lenguaje –el análisis que se desprende de las teorías de la referencia–, aplicada al lenguaje particular de la física, puede ser de gran utilidad para lograr una mejor comprensión tanto de los conceptos como de los enunciados en los que se ven involucrados.

II. LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS

Los conceptos pueden considerarse como entidades abstractas¹ –condición necesaria de todo conocimiento–. Es usual dividir los conceptos científicos en clasificatorios, comparativos y métricos, cada uno de los cuales tiene su correspondiente estructura lógica². Los conceptos clasificatorios ubican un objeto dentro de una clase, es decir, sirven para clasificar los objetos de un dominio, pero estos conceptos no determinan unívocamente la clase de los objetos a los que se aplican, por lo que no son ejemplos de conceptos científicos.

Las comunidades científicas suelen introducir conjuntos o sistemas de conceptos clasificatorios –llamados clasificaciones– que deben cumplir ciertas condiciones formales de adecuación. De acuerdo con dichas condiciones, debe quedar perfectamente delimitado el ámbito o dominio D de individuos o elementos que se va a clasificar, a cada concepto clasificatorio debe corresponderle al menos un individuo de dicho dominio, ningún individuo puede caer bajo dos conceptos clasificatorios distintos y todo individuo del dominio en cuestión debe caer bajo alguno de los conceptos de la clasificación.

Los conceptos comparativos ocupan una posición intermedia entre los clasificatorios y los cuantitativos o métricos, y nos indican de qué manera se relaciona un objeto con otro.

Para introducir un concepto comparativo que represente una propiedad que los individuos de un dominio D poseen en mayor o menor grado, es necesario definir dos relaciones –una de coincidencia y otra de precedencia– respecto de esa propiedad; es decir, dos relaciones que permitan indicar cuándo dos objetos del dominio D coinciden con respecto a esa propiedad y cuándo uno precede al otro respecto de ella.

Este tipo de conceptos permiten, además de clasificar objetos, ordenarlos y compararlos, por lo que constituyen un paso para la posterior introducción de los conceptos métricos.

¹ La relación entre los términos y los conceptos puede formularse indicando que los términos *expresan* conceptos.

² Esta clasificación es la llevada a cabo por Carnap [21] y Hempel [22]. Véase también Mosterín [23] y Díez/Moulines [24].

Muchos conceptos científicos –pero no todos– son introducidos comparativamente antes de transformarse en conceptos métricos.

Los conceptos cuantitativos o métricos asignan cantidades –escalares o vectoriales– a los objetos, procesos o fenómenos, por lo que permiten también comparar y clasificar objetos de un dominio. Tales asignaciones de números reales o vectores resultan en muchos casos de cuantificar conceptos comparativos previos – como es el caso de los conceptos de masa o longitud –o de la introducción directa de un concepto métrico a partir de una teoría o como recurso de cálculo– como es el caso de la entropía o la función de onda.

Los conceptos métricos permiten tratar procesos o fenómenos empíricos como si fueran operaciones matemáticas y representar determinadas propiedades de los mismos, y de los objetos involucrados en ellos, denominadas magnitudes. Los términos de magnitudes físicas expresan conceptos de este tipo.

III. LOS CONCEPTOS MÉTRICOS

La física utiliza un lenguaje técnico para describir y explicar su objeto de estudio, su particular recorte del mundo.

Entretejiendo ese lenguaje con estructuras matemáticas y esquemas experimentales define el mundo al que va a referirse, así como las herramientas a través de las cuales va a abordarlo. Esas herramientas son las magnitudes físicas, es decir, los conceptos métricos a través de los cuales se pueden cuantificar los hechos, fenómenos y procesos del mundo para describirlos y explicarlos.

En el lenguaje de la física hay distintos tipos de términos: aquellos que denotan objetos que hay en el mundo –los términos que designan partículas, por ejemplo– y los que denotan las herramientas con las que se analiza el mundo, es decir, los términos de magnitudes físicas.

En este trabajo nos ocuparemos de la semántica de estos últimos y, en particular, de la relación que los vincula con el mundo: su referencia. El estudio de la referencia de los términos de magnitudes físicas contribuye a comprender la forma en la que la física ve el mundo, cómo la física representa el mundo cuando lo transforma en su objeto de estudio.

No es nuestro objetivo en el marco de este escrito llevar a cabo una investigación de carácter ontológico, acerca de lo que cada teoría física supone que hay en el mundo, sino atender a la manera en la que se refiere a aquellas entidades involucradas en la descripción y explicación de las interacciones entre los objetos, y de los fenómenos, cuya existencia se presupone en el contexto de cada teoría.

Asumiremos que cada teoría es una de las posibles formas de entender el mundo y que para describir y explicar ese mundo, independientemente de cómo es el mundo realmente y de si es posible conocerlo, se dan por supuestas una serie de partículas, de interacciones entre ellas y de propiedades/magnitudes que –al menos eso se supone– poseen los objetos y que permiten comprender los fenómenos que ocurren en el mundo.

A cada una de las magnitudes físicas se le asocia un concepto matemático que posea una “estructura análoga”, es decir, un concepto matemático que tenga las mismas leyes de composición y que se comporte de manera similar ante una transformación o cambio de sistema de referencia; en definitiva, un homomorfismo de un sistema empírico en un sistema numérico.

Es importante señalar que una magnitud no es sólo su representación matemática. Los enunciados de leyes cuantitativas no contienen íntegramente las magnitudes físicas implicadas, sino sólo algunos de sus componentes, a saber, aquellos con los que resulta posible operar matemáticamente; dichos componentes son sus variables numéricas.

Para finalizar estas consideraciones sobre la noción de magnitud física, y tras las observaciones precedentes, querría señalar que en la definición de una magnitud, entendida –desde aquí y en adelante– en un sentido amplio y no sólo en tanto representación matemática de una magnitud, deben quedar contenidos todos los aspectos relevantes de la misma.

Estimo que éstos son cuatro. Por una parte, es necesario tomar en consideración el aspecto que denominaré ontológico, que contendrá una explicitación de cuál es la propiedad –o el tipo de propiedad– a la que se quiere asignar un valor numérico.

Por otra parte, la asignación de un valor numérico a la propiedad a través de un proceso de medida, que incluye muchas veces otras magnitudes, hace necesario tener en cuenta tres aspectos más: el aspecto experimental de la magnitud, que explicita la relación que ha de suponerse entre la magnitud y el montaje experimental; el aspecto formal o matemático, expresable mediante una estructura matemática (o fórmula) que la represente, así como el aspecto contextual, es decir, la relación entre la magnitud y las demás magnitudes involucradas en la representación matemática y en el montaje experimental que permite medirla.

IV. PERSPECTIVAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS CONCEPTOS MÉTRICOS

Una de las perspectivas relevantes en el estudio de la semántica y, en particular, de la referencia de los términos es el debate entre los distintos tipos de teorías de la referencia.

El cometido principal de las teorías de la referencia es explicar los procesos de fijación o determinación de la referencia y el de transmisión o préstamo de la referencia.

De acuerdo con las teorías descriptivas³ de la referencia, la referencia de un término viene determinada por una

³ Los autores más significativos a los que se les atribuye este tipo de teorías son Frege [25], Russell [26], Carnap [27], Strawson [28] y Searle [29]. Cabe señalar que las versiones clásicas de este tipo de teorías aunque pueden extenderse a los términos de clase natural han sido formuladas para los nombres propios. La teoría de la referencia formulada por Carnap en [27] específicamente para los

Fleisner, A., Ramírez, S., Viera, L.

descripción (de acuerdo con las versiones clásicas) o por un conjunto de descripciones (de acuerdo con las versiones contemporáneas) que los hablantes asocian con el término. Las teorías de este tipo no especifican el tipo de información que deben contener las descripciones que, asociadas con un término de magnitud física, determinarán la referencia de dicho término, ni proporcionan una manera de determinar cuáles o qué número de las descripciones que se asocian con un término deben permanecer constantes, para que no se vea alterada la referencia de dicho término.

También resulta problemático el hecho de que no se plantee claramente una manera de identificar una magnitud, ni un criterio inequívoco para la identidad entre magnitudes.

De acuerdo con las distintas versiones de la teoría causal⁴ de la referencia, el referente de un término es una entidad con la que el término o, dicho más precisamente, el uso del término por parte de un hablante y, por tanto, el hablante mismo está vinculado causalmente.

En la teoría causal de Putnam cabe distinguir dos versiones: la bautismal y la no-bautismal. Según la versión bautismal, la referencia de un término se fija mediante el acto en el cual se introduce inicialmente dicho término; esta introducción tiene lugar mediante una descripción.

De acuerdo con la versión no-bautismal, la referencia de un término viene fijada por los usos que los hablantes expertos hacen del término, generalmente con posterioridad a la introducción inicial del mismo. Putnam conjetura que en toda comunidad lingüística existe una división del trabajo lingüístico de acuerdo con la cual algún subconjunto de los miembros de dicha comunidad lingüística -los expertos- disponen de métodos o criterios identificadores mejores que los del hablante medio para determinar si una entidad pertenece o no a la extensión de un término de clase natural.

El resto de los miembros de la comunidad lingüística están dispuestos a deferir en ellos sus juicios acerca de dicha pertenencia, entonces el uso de los términos de clase natural por parte del resto de los hablantes dependerá de una cooperación con los hablantes expertos basada en un principio denominado Principio del Beneficio de la Duda, según el cual se le atribuye al experto, si la persona que está en el otro extremo de la cadena causal o de la cadena de transmisiones o relaciones de cooperación no es el (primer) introductor del término, el beneficio de la duda, de modo que se aceptan como razonables modificaciones de la descripción D mediante la que un término de clase natural, T, fue introducido.

Independientemente de la teoría de la referencia que se asuma, es necesario conocer completamente las características de cada magnitud física (descripciones que los físicos asocian con cada término de magnitud o las

términos de magnitudes físicas puede considerarse una versión moderna de este tipo de teorías.

⁴ En este segundo grupo de teorías se suelen agrupar a las teorías de la referencia formuladas principalmente por Kripke [30] y Putnam [31] aunque también a las de autores como Donnellan, Kaplan y Marcus.

propiedades esenciales) para entender el vínculo entre ellas y con el mundo físico.

Otra de las perspectivas desde la que puede analizarse los términos que designan magnitudes físicas es la del cambio conceptual en ciencia. Generalizando, podemos decir que existen dos tesis contrapuestas acerca del comportamiento de la referencia de los términos de magnitudes físicas, en un contexto de cambio teórico: la tesis de la *inconmensurabilidad* referencial⁵ y la de la *inmutabilidad*⁶ de la referencia.

Estas tesis involucran explicaciones del comportamiento de la referencia de los términos en un contexto de cambio teórico, dado que, dependiendo de la forma o mecanismo mediante el cual se suponga que se determina o fija y se transmite la referencia, se podrá optar por defender una de las tesis o la opuesta.

Aunque en principio, sólo parece posible explicar el cambio de referencia desde el marco de la teoría descriptiva, también es posible hacerlo desde una versión no bautismal de la teoría causal.

Sostendremos que la referencia de un término de magnitud física cambia cuando se modifica *radicalmente* el mapa de relaciones que forma con el resto de las magnitudes involucradas en su definición inicial, y construiremos esquemas que nos permitirán analizar las relaciones que la magnitud masa tiene con algunas otras magnitudes (las descripciones o las propiedades que los físicos asocian con la magnitud) en el marco de distintas teorías.

V. ANÁLISIS DE LOS MAPAS DE RELACIONES DE MAGNITUDES EN DIFERENTES CONTEXTOS TEÓRICOS

La red de relaciones que cada magnitud conforma con las restantes en un determinado contexto teórico, y por tanto, la red de relaciones entre los términos que designan dichas magnitudes, nos permite presentar todas las características de cada concepto métrico. Es decir, la información completa acerca de cada magnitud, más allá de aquella relación matemática con la que los estudiantes suelen identificarla.

Un “mapa” de relaciones entre magnitudes proporciona también una herramienta para analizar el comportamiento de la referencia de un término de magnitud física, que consideramos más adecuada que la basada en las descripciones o propiedades (identificadoras), a las que se alude en la teoría descriptiva o en las propiedades esenciales, a las que se alude en la teoría causal.

Se presentará en lo que sigue una serie de esquemas (Figuras 1, 2 y 3) que intentarán ejemplificar la información que consideramos completa para el término “masa”, y además, lo que sucede con la referencia del término en un contexto de cambio teórico.

⁵ Los autores que hemos analizado en relación con esta tesis son Kuhn [32 a, b, c y d] y Feyerabend [33].

⁶ Ver Putnam [34].

En cada uno de los esquemas presentados más abajo, correspondientes cada uno de ellos a una determinada teoría física, se intenta representar la relación existente entre los aspectos ontológico, experimental, formal o matemático y contextual a través de los cuales es posible definir la magnitud.

Obviamente, cada esquema contiene sólo algunas de las magnitudes definidas en cada teoría –las que se han supuesto más relevantes–, por lo que el análisis no es completo.

El recuadro mayor representa la estructura o contenedor, que es constituido por las magnitudes espacio y tiempo, y también indica el tipo de métrica que tal estructura implica en el contexto de cada teoría física. La flecha que conecta al exterior con la mencionada estructura muestra el tipo de interacción que cada contexto supone entre objeto/fenómeno a observar/medir y el aparato experimental. El rectángulo dentro del cual se encuentra la magnitud a analizar encierra lo que podría denominarse “definición ontológica”. Las más de las veces esta definición involucra otras magnitudes e implica un tipo específico de relación matemática entre ellas.

Mediante círculos se representan otras de las magnitudes definidas en cada teoría especificándose, cuando es posible, la relación existente con la magnitud a analizar y la expresión matemática de dicha relación. Por último, con línea de puntos, se muestran aquellas magnitudes que no están definidas en el contexto que se está presentando.

A través de estos esquemas o, más específicamente, de las relaciones entre magnitudes consignadas en ellos, podrá analizarse si las teorías que heredan un término de magnitud sólo han añadido conocimiento coherente con la teoría que introdujo el término o si, por el contrario, introducen relaciones que resultan ser incompatibles con las atribuidas inicialmente.

VI TÉRMINO “MASA”

Se relacionará a la magnitud masa sólo con las magnitudes espacio, tiempo, velocidad, aceleración, fuerza, energía, cantidad de movimiento y masa en reposo, suponiendo, por cuestiones prácticas, que, con excepción de la magnitud a analizar, las restantes están definidas en los contextos de la mecánica clásica y de la relatividad especial aproximadamente de la misma forma. Pero cabe señalar que esta suposición no puede sostenerse cuando se trata del contexto de la relatividad general, ya que si bien muchas de las magnitudes utilizadas por esta teoría conservan el nombre, están definidas de forma distinta a la que figura en la Mecánica Newtoniana. Y por tanto, las relaciones que establecen con la estructura espacio-tiempo, así como las que se establecen entre ellas, son completamente distintas.

A partir de la observación de la red de relaciones que se establece entre la magnitud masa y las restantes, es posible señalar lo siguiente.

Relación entre la masa y el espacio-tiempo: si bien la estructura de espacio y tiempo absolutos es reemplazada, en el paso de la Teoría Clásica (Figura 1) a la de la Relatividad

Especial (Figura 2), por otra formada por un espacio-tiempo relativo. La relación que establece la masa con dicha estructura varía sólo en cuanto a la métrica que ésta implica, pero la masa de un objeto sigue en ambos casos sin alterar esa relación. No obstante, dicha relación sí se modifica en el paso a la Teoría de la Relatividad General (Figura 3), de acuerdo con la cual la masa de un objeto deforma el espacio-tiempo.

La modificación que supone la presencia de un cuerpo con masa en la estructura espacio-tiempo de la relatividad general, implica a su vez una importante alteración⁷ en la relación objeto a ser medido-montaje experimental de medición, ya que la masa del montaje experimental altera dicha estructura.

Como puede verse en el esquema correspondiente, la masa forma parte ahora de una estructura que suele denominarse “estructura de la realidad”, junto con el espacio y el tiempo, y, por tanto, las relaciones más relevantes que establece con otras magnitudes se dan a través de las ecuaciones de Einstein.

Relación de la masa con la velocidad: tal como ya se ha señalado a lo largo de este escrito, la relación entre las magnitudes masa y velocidad varía notablemente en el paso de la mecánica clásica a la relatividad especial.

La independencia que se supone entre la masa de un objeto y su estado de movimiento en el contexto de la Mecánica Clásica deja de ser válida en el marco de la Relatividad Especial. La masa deja de ser una magnitud absoluta y dependiendo de la velocidad relativa del observador se pueden obtener distintos resultados al medirla.

De esta forma, esta variación escapa al aspecto meramente matemático, y trae aparejada una variación experimental importante, y también una variación en el aspecto ontológico de la definición de la magnitud.

En el contexto de la relatividad general encontramos una modificación aún mayor. Esta teoría asigna a todo cuerpo en el seno de un campo gravitatorio, una determinada energía cinética⁸, lo que equivale a asignarle una determinada velocidad. Pero, puesto que toda velocidad produce una disminución del ritmo en que transcurre el tiempo⁹, en el seno de un campo gravitatorio también se frenará el tiempo.

⁷ Esta alteración puede pensarse como simplemente teórica, ya que a efectos experimentales hay que tener en cuenta que, en general, la deformación del espacio es despreciable para objetos con poca masa (mucho menores que, por ejemplo, los planetas) y entonces la masa se determina por otros métodos (equivalencia masa-energía). De todas maneras existe un cambio experimental significativo, ya que en un contexto se mide una cierta cantidad de materia y en el otro una cierta cantidad de energía.

⁸ Esta energía cinética atribuida es igual a la energía potencial que tendría a causa del campo gravitatorio. De esta forma la velocidad asignada es la de escape de un campo gravitatorio, con la que un cuerpo en órbita perdería su órbita elíptica para pasar a una órbita parabólica.

⁹ Esta disminución viene dada por la relación entre el tiempo y la velocidad

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

Fleisner, A., Ramírez, S., Viera, L.

Es decir, las magnitudes masa, velocidad y espacio-tiempo están unidas de modo tal que, la variación de una de ellas implica modificaciones en las otras.

Relaciones de la masa con la aceleración y la fuerza: las relaciones que se establecen entre la masa, la aceleración y la fuerza en la Mecánica Clásica y en la Relatividad Especial son similares, más allá de que la métrica en cada teoría implique la necesidad de herramientas matemáticas distintas para su descripción. Pero cabe señalar que la relatividad general supone unas relaciones notablemente distintas.

De acuerdo con esta teoría, la interacción gravitatoria es solamente una deformación de la geometría del espacio-tiempo producida por la masa de los cuerpos. Así, lo que en Mecánica Clásica se denominaba “fuerza gravitatoria” es para la relatividad general sólo un efecto asociado a que un observador en reposo respecto de la fuente del campo no es un observador inercial, y por tanto, mide fuerzas ficticias al tratar de aplicar el equivalente relativista de las leyes de Newton.

Respecto de la relación masa/masa en reposo cabe señalar que la magnitud “masa en reposo” no está definida en la Mecánica Clásica, ya que no tiene ningún sentido diferenciarla de la masa en movimiento, pues en este contexto no se supone a la masa de un cuerpo dependiente del estado de movimiento del mismo.

Relación entre la masa y la energía: la equivalencia entre las magnitudes masa y energía propia de la formulación de la relatividad especial y la relatividad general hacen que el aspecto ontológico de la definición de la magnitud masa varíe con el paso de la Mecánica Clásica a las Teorías de la Relatividad.

Lo que en el contexto clásico eran dos magnitudes diferenciadas se transforma en una única magnitud. Esta transformación, además de cambiar la definición ontológica de la magnitud masa, implica notables cambios en el aspecto experimental de la definición de dicha magnitud.

Relación entre la masa y la cantidad de movimiento: si bien la relación de la masa con la cantidad de movimiento puede expresarse siempre de acuerdo con la ecuación $\vec{p} = m\vec{v}$, en el contexto de la relatividad especial hay dos cuestiones a tener en cuenta. Por una parte, la cantidad de movimiento resulta ser, en el contexto de la física moderna, una propiedad de cualquier entidad física, con o sin masa, necesaria para describir las interacciones. Así las teorías modernas consideran que no sólo los cuerpos masivos poseen cantidad de movimiento, sino que ésta también resulta ser un atributo de, por ejemplo, los campos y los fotones.

La segunda cuestión a tener en cuenta es que, por ser la masa en el contexto de la relatividad especial una magnitud equivalente a la energía, la cantidad de movimiento puede expresarse, por ejemplo, en el caso de un fotón, como $p = E/c$ o, lo que es equivalente en el caso de la MQ, $p = h\nu/c$, donde h es la constante de Planck, y ν la frecuencia del fotón. Es decir, las relaciones que unen a la cantidad de movimiento en la mecánica clásica y en la

relatividad especial están mediadas por magnitudes distintas y en el contexto de la mecánica cuántica la relación matemática puede incluir la constante de Planck, constante que carece de sentido en el contexto de la mecánica cuántica y en la relatividad especial.

Puede observarse entonces que, en los contextos de la mecánica clásica, la relatividad especial y la relatividad general, las relaciones entre la magnitud masa y algunas de las restantes magnitudes definidas en cada una de las mencionadas teorías, varían radicalmente.

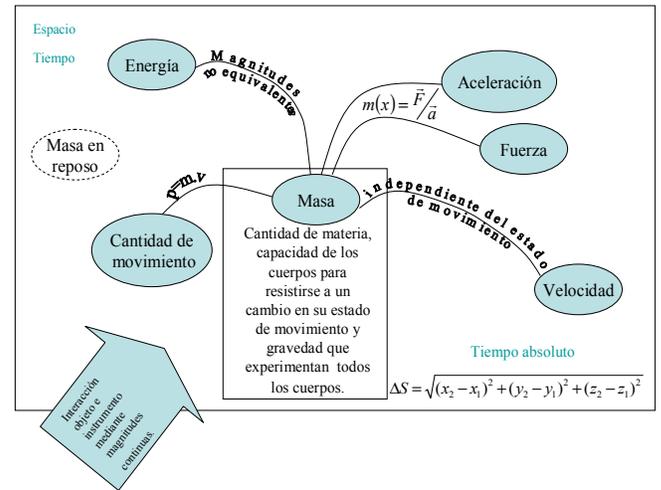


FIGURA 1. Mapa de relaciones que se establecen entre la masa y otras magnitudes en el contexto de la mecánica clásica.

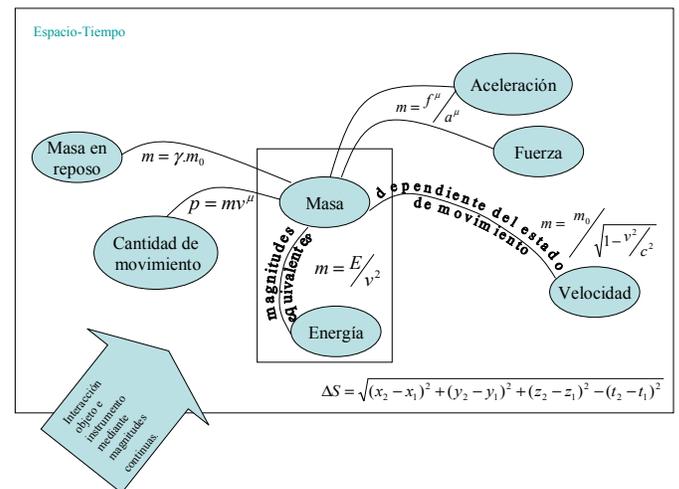


FIGURA 2. Mapa de relaciones que se establecen entre la masa y otras magnitudes en el contexto de la relatividad especial.

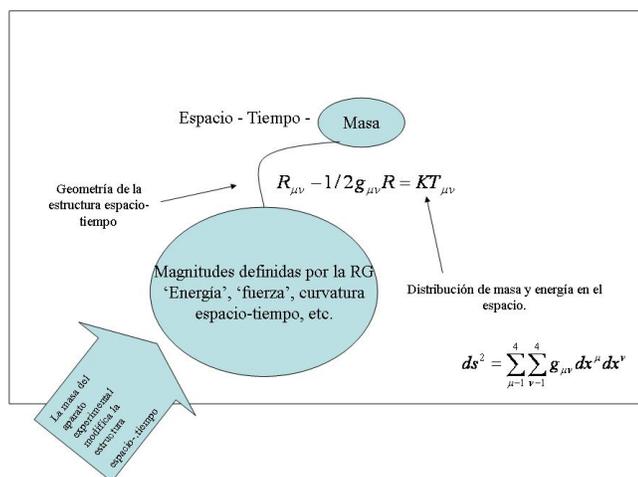


FIGURA 3. Mapa de relaciones que se establecen entre la masa y otras magnitudes en el contexto de la relatividad general.

IV. CONCLUSIONES

Justamente por ser la *referencia* de un término (que designa a un concepto) el vínculo entre dicho concepto y el mundo al que se refiere, es sumamente importante reparar en el análisis de cómo la referencia se determina o fija y se transmite o varía, en un contexto de cambio teórico.

Para comprender el vínculo entre el lenguaje técnico de la física y el mundo al que el mismo se refiere, es necesario conocer todas las características de los conceptos físicos: ontológicas, formal o matemática, experimental y contextual.

Conocer la información completa (disponible) de un concepto físico permite, no sólo interpretar mejor su significado, utilizarlo correctamente (transferirlo en situaciones concretas de resolución de ejercicios y problemas), comprender los vínculos que se establecen entre él y otros en el contexto de distintos enunciados de la física sino también, brindar una visión no lineal y acumulativa de la ciencia.

En definitiva, creemos que presentar explícitamente los distintos aspectos de un concepto físico permitiría a los estudiantes una mejor comprensión y manejo del lenguaje técnico de la física.

REFERENCIAS

- [1] Wainmaier, C. y Fleisner, A., *Interpretación del lenguaje simbólico de la física: Las "lecturas" de los estudiantes*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **9** (2015). <http://www.lajpe.org/jun15/05_974_Wainmaier.pdf>, Consultado el 12 de Mayo de 2016.
- [2] Ramírez, S., Fleisner, A. y Viera, L., Los conceptos químicos en los textos de química I, *V Jornadas Nacionales de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas (V IPECYT)*, Bahía Blanca, Argentina (2016).
- [3] Fleisner A., Wainmaier, C., ¿Diferencian los estudiantes universitarios las leyes físicas de las definiciones? *V*

Jornadas Nacionales de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas, Bahía Blanca (2016).

[4] Salinas, J., Lenguaje matemático y realidad material en la enseñanza y en el aprendizaje de la Física, *VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de la Física, Aguas de Lindota, Brasil* (2002).

[5] Lawson, R. & Mc Dermott, L., *Student understanding of work-energy and impulse-momentum theorems*, American Journal of Physics **55**, 811-817 (1987).

[6] Cudmani, L., Salinas, J. y Pesa, M., *Distintos tipos de constantes en física y aprendizaje significativo de la disciplina*, Enseñanza de las Ciencias **13**, 237-247 (1995).

[7] Bagno, E., Berger, H. & Eylon, B. S., *Meeting the challenge of students' understanding formulas in high-school physics: A learning tool*, Physics Education **43**, 75-82 (2008).

[8] Tuminaro, J. & Redish, E., *Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games, physical review special topics*, Physics Education Research **3**, 2-22 (2007).

[9] Ragout, S. y Cárdenas, M., *El lenguaje de la Física universitaria y su relación con algunos problemas de aprendizaje*, Memorias de la Décimo Primera Reunión Nacional de Educación en Física, Mendoza, 182-188 (1999).

[10] Cudmani, L., Salinas, J., *Modelo físico y realidad: Implicancias para el aprendizaje*, Caderno Catarinense de Ensino de Física **8**, 181-192 (1991).

[11] Redish, E., Problem solving and the use of Math in Physics courses, *Proceedings of ICPE*, India (2005).

[12] Diez, J. A., Moulines, C. U., *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, (Ariel, Barcelona, 1997).

[13] Hempel, C. G., *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*, (Alianza, Madrid, 1988).

[14] Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Uribe Beltrán, M. V., Cuéllar Fernández, L. y Amador Rodríguez, R. Y., *El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza*, Ciência & Educação **10**, 571-583 (2004). Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v10n3/18.pdf>. Consultado: 12 de mayo de 2016.

[15] Lombardi, O. I., *La pertinencia de la historia en la Enseñanza de Ciencias: Argumentos y contraargumentos*. Enseñanza de las Ciencias **15**, 343-349 (1997).

[16] Capuano, V., Dima, G., Botta, I. L., Follari, B., de la Fuente, A., Gutiérrez, E. & Perrotta, M. T., *Una experiencia de aula para la enseñanza del concepto de modelo atómico en 8° EGB*, Revista Iberoamericana de Educación **44**, 1837 (2007).

[17] Solbes, J., & Traver, M., *Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas*, Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas **19**, 151-162 (2001).

[18] Gil, D., *¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?*, Enseñanza de las Ciencias **9**, 69-77 (1991).

[19] Hodson, D., *Phylosophy of science, science and science education*, Studies in Science Education **12**, 25-27 (1985).

Fleisner, A., Ramírez, S., Viera, L.

[20] Fleisner, A., *Hacia una teoría de la referencia para los términos de magnitudes físicas*, Revista Latinoamericana de Filosofía 37, 5-33 (2011).

[21] Carnap, R., *Philosophical Foundations of Physics*. (Basic Books, Nueva York, 1966) “Fundamentación lógica de la física” (Trad. cast.), (Sudamericana, Buenos Aires, 1969).

[22] Hempel, C. G., *Fundamentals of concept formation in empirical Science*, (University of Chicago Press, Chicago, 1952) “Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica” (Trad. cast.), (Alianza Editorial, Madrid, 1988).

[23] Mosterín, J., *Conceptos y teorías en ciencia*, 3ª Ed. (Alianza, Madrid, 2000).

[24] Díez, J. y Moulines, C. U., *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, (Ariel, Barcelona, 1999).

[25] Frege, G., *Escritos filosóficos*, (Crítica, Barcelona, 1996).

[26] Russell, B., *The problems of Philosophy*, (Oxford University Press, Oxford, 1959).

[27] Carnap, R., *Meaning and necessity. A study in semantics and modal language*, (The University of Chicago Press, Chicago, 1947).

[28] Strawson, P., *Individuals: An essay in descriptive Metaphysics*, (Methuen, London, 1959).

[29] Searle, J. R., Proper names and descriptions, En: P. Edwards (Ed.), *The Encyclopedia of Philosophy*, Vol. 6, (Mc Millan, Londres, 1967). pp. 487-491. “Nombres propios y descripciones” (Trad. cast.), En: Valdés Villanueva, (1999). p. 106.

[30] Kripke, S., *Naming and necessity*, (Harvard University Press, Cambridge, 1980) (Dordrecht Reidel, Dordrecht, 1972).

[31] Putnam, H., *Mind, language and reality*, *Philosophical Papers Vol. 2*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1975).

[32a] Kuhn, T., *The structure of scientific revolutions*, 2ª Ed. (University of Chicago Press, Chicago, 1970) La estructura de las revoluciones científicas (Trad. cast.) (Fondo de Cultura Económica de España, Madrid, 1975).

[32b] Kuhn, T., *Commensurability, comparability, communicability*, En: P. D. Asquith & T. Nickles (Eds.), *Philosophy of Science Association*, Vol. 2, East Lansing, USA, (1982). pp. 669-688.

[32c] Kuhn, T., Dubbing and redubbing. The vulnerability of rigid designation, En: C. W. Savage (Ed.), *Scientific Theories Vol. 14*, (University of Minnesota Press, Minneapolis, 1990). pp. 298-318.

[32d] Kuhn, T., Afterwords, En: P. Horwich (Ed.), *World Changes, Thomas Kuhn and the Nature of Science*, (MIT Press, Cambridge, 1993). pp. 311-341.

[33] Feyerabend, P., *Against method. Outline of an anarchistic Theory of Knowledge*, (New Left Books, Nueva York, 1975) “Contra el método” (Trad. cast.), (Ariel, Barcelona, 1975).

[34] Putnam, H., On properties, En: N. Rescher *et al.* (Eds.), *Essays in honor of Carl G. Hempel*, (Reidel Dordrecht, Dordrecht, 1970) “De las propiedades” (Trad. cast.), Cuadernos de Crítica, Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México (1983).