



## Procesos formativos de conceptos en física

A. Fleisner, A.

Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes. Roque Sáenz Peña 352. Bernal, Argentina.

### ARTICLE INFO

**Received:** 25 octubre 2019

**Accepted:** 30 enero 2020

**Available on-line:** 30 mayo 2020

**Keywords:** Educación Universitaria, Física, Pensamiento científico teórico.

**E-mail addresses:**  
ana.fleisner@unq.edu.ar

ISSN 2007-9842

© 2020 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

This paper analyzes the development, through an adequate teaching process of physics, of theoretical scientific thinking in students. In particular, the construction of the concept of force is studied. We will argue that it is possible to favor the development of the formative processes of concepts - and, through it, theoretical scientific thinking - defining and presenting the concepts in a complete way, that is, attending to all the essential characteristics that physics needs and uses to build, describe and explain the world that it is going to refer. In this type of presentation -complete- of the physical concepts, the teacher cannot limit himself to instilling in students the norms of empirical thinking; It is necessary to develop theoretical thinking in order to cover all the essential characteristics of these concepts. The construction of knowledge in physics implies, in parallel, the construction of a language that reflects the logical structure of that knowledge. For this reason, properly defining any physical concept implies building well-formed sentences not only around the characteristic that the concept cuts but also to the formalism from which it will be possible to assign a value and to the context of the laws that involve it. A complete learning of the concepts, superior to the mere possibility of assigning numerical values to a formal structure, favors the development of theoretical scientific thinking.

El presente trabajo analiza el desarrollo, a través de un adecuado proceso de enseñanza de la física, del pensamiento científico teórico en los estudiantes. Se estudia, de manera particular, la construcción del concepto de fuerza. Sostendremos que es posible favorecer el desarrollo de los procesos formativos de conceptos -y, a través de ello, el pensamiento científico teórico- definiendo y presentando los conceptos de modo completo, es decir, atendiendo a todas las características esenciales que la física necesita y utiliza para construir, describir y explicar el mundo al que va a referirse. En este tipo de presentación -completa- de los conceptos físicos el docente no puede limitarse a inculcar a los estudiantes las normas del pensamiento empírico; resulta necesario el desarrollo del pensamiento teórico para poder abarcar todas las características esenciales de dichos conceptos. La construcción de conocimiento en física implica, paralelamente, la construcción de un lenguaje que refleje la estructura lógica de dicho conocimiento. Por este motivo definir adecuadamente cualquier concepto físico implica construir oraciones bien formadas no sólo en torno a la característica que el concepto recorta sino también al formalismo desde el cual será posible asignarle un valor y al contexto de las leyes que lo involucran. Un aprendizaje completo de los conceptos, superior a la mera posibilidad de asignación de valores numéricos a una estructura formal, favorece el desarrollo del pensamiento científico teórico.

### I. INTRODUCCIÓN

Se observa en los estudiantes universitarios serias dificultades en el aprendizaje de las ciencias naturales y, en particular, en física. En muchos casos son los cursos básicos de física -además de los de matemática y química- los causantes del abandono o retraso académico que se observa en el transcurso de los primeros años de algunas carreras

científico tecnológicas. Una de las dificultades más significativa está relacionada con la apropiación del lenguaje específico de la disciplina asociado a formas de observar, pensar y hablar sobre los hechos que son propias de la actividad científica, pero también a la forma específica de construcción de conceptos. La importancia del lenguaje en el aprendizaje de las ciencias se viene señalando desde hace tiempo ([1]; [2] y [3]) y acordamos con Vygotsky [4] que lenguaje y pensamiento no son independientes ni lo son ambos del contexto en el que se producen. Las funciones psíquicas superiores -como el lenguaje- tienen un origen histórico-social y nacen en las interacciones que se producen en el proceso de comunicación entre las personas. El lenguaje es, entonces, parte integrante y producto del resto de capacidades cognitivas por lo que entendemos que es fundamental en el proceso de formación de conceptos y, por lo tanto, en la adquisición del tipo de pensamiento que se intenta favorecer desde la enseñanza.

Los resultados de la investigación educativa advierten características comunes de los estudiantes en relación con el aprendizaje de la física tales como: falta de diferenciación entre el significado que se le asignan a los conceptos en el ámbito cotidiano y en el científico [5], dificultades con el manejo de los lenguajes simbólicos específicos de la disciplina [6] y [7], en la traducción de un lenguaje a otro y serias limitaciones para producir textos argumentativos [8]. Estas dificultades ponen de manifiesto deficiencias en el proceso de construcción (tanto en la enseñanza como en el aprendizaje) de conceptos propios de la física -para no físicos- en las aulas universitarias.

Respecto de la dificultad de los estudiantes para diferenciar el significado que se asigna a los conceptos en el ámbito cotidiano y en el científico cabe señalar que, más allá de la presentación (desde los contenidos) de las magnitudes físicas, resulta necesario atender a la terminología propia de la física, es decir al conjunto de palabras relacionadas con el ámbito específico de la disciplina. El lenguaje científico en general y el de la física en particular son lenguajes de especialidad, que se caracterizan por una terminología, un discurso y una estructura lógica específicos. Muchos términos que se usan en el ámbito de la física para designar conceptos nuevos son metáforas generadas a partir palabras procedentes del lenguaje corriente a las que se les confiere un significado distinto (“trabajo”, “energía”, “estructura”, “flujo”, “corriente”, etc.). Esta coincidencia de términos entre el lenguaje general y el científico se ha destacado como una de las causas de la aparición de concepciones alternativas en el aprendizaje de los conceptos relacionados con la ciencia [5]. Por ejemplo, la idea de trabajo en física no coincide siempre con las situaciones de la vida cotidiana en las que se habla de la realización de un trabajo (en física se requiere siempre que haya una fuerza aplicada sobre un cuerpo y que éste se desplace). La terminología de una ciencia forma parte de su enseñanza y, aunque hay quienes sostienen que se aprende de forma natural junto con el aprendizaje propiamente dicho de esa ciencia, entendemos que el docente de física debe también enseñar las particularidades del discurso de la disciplina ([1], [2], [3], [8] y [9]). Quizá uno de los mayores riesgos de este aprendizaje natural es que puede dar lugar a un uso del lenguaje como sistema de etiquetaje, olvidando la importancia didáctica de justificar etimológicamente cada término que se introduzca por primera vez, cuando se trate de un neologismo, o de resaltar la diferencia entre el significado científico de una palabra y el que tiene en el lenguaje corriente, cuando este término se haya tomado prestado del habla cotidiana ([10]).

Otro de los problemas que entorpecen el proceso de formación de conceptos está asociado con la dificultad de interpretación del lenguaje simbólico y las estructuras matemáticas utilizadas para cuantificar las magnitudes físicas. Desde la introducción de la geometrización -en la modernidad-, el lenguaje matemático fue empleado en la física para cuantificar, estructurar y expresar enunciados sobre sucesos y procesos del “mundo físico”. Sin embargo, el profundo vínculo que relaciona a la física con la matemática no debilita las sustanciales diferencias entre ambas ciencias. Aunque habitualmente se piense a la matemática como el lenguaje de las ciencias, la matemática cuando es usada en física es un dialecto distinto de dicho lenguaje [11]. Los recursos formales – matemáticos y lógicos – son fundamentales en el análisis y la descripción de la naturaleza, pero su uso exige considerar particularmente en la enseñanza, las diferencias sustanciales entre enunciados formales y fácticos [12]. Muchos de los estudiantes universitarios que conciben a la física como un conjunto de fórmulas y símbolos, presentan dificultades para interpretar el significado de los formalismos matemáticos que usan [13]. Por este motivo resulta de particular importancia que los estudiantes comprendan que, a diferencia de lo que ocurre en matemática o en lógica, las “fórmulas” de la física son fórmulas interpretadas fácticamente [14]. En tal sentido Cudmani et al. [15] (pág. 239) afirman que “muchas de las

dificultades de aprendizaje son consecuencia de haber vaciado de significado físico a las relaciones matemáticas con que se simbolizan los enunciados de leyes y de un manejo de estas expresiones como meros algoritmos de cálculo".

Se señala también, desde la investigación en educación, que la mayoría de los estudiantes universitarios de carreras científico tecnológicas presentan problemas en la producción de textos argumentativos, es decir, tienen dificultades para expresar y organizar un conjunto de ideas en un escrito que se caracterice por su rigor, precisión, estructuración y coherencia. Para construir adecuadamente el significado de un concepto en física es necesario apropiarse, simultáneamente, del lenguaje en el que expresar dicho significado. Manejar este lenguaje implica no sólo conocer los contenidos específicos de la disciplina sino también las reglas de formación de proposiciones válidas en el contexto de la misma, la articulación de las proposiciones en párrafos y éstos en argumentos válidos.

## II. MARCO TEÓRICO

### II a. Conceptos de la física

El vocabulario utilizado por los científicos consta de un conjunto de signos que pertenecen a uno o más lenguajes. En el lenguaje construido por las ciencias fácticas es posible identificar términos de algún lenguaje natural, expresiones o términos provenientes de las ciencias formales (lógica y matemática) y un conjunto de expresiones o términos técnicos introducidos por una teoría o preexistentes en el lenguaje ordinario, pero a los que se le ha asignado nuevo significado. Resulta común definir a los conceptos como unidades cognitivas de significado, ideas abstractas o mentales o "las unidades más básicas, y por ello imprescindibles, de todo tipo de conocimiento humano, en especial del científico" (Diez y Moulines [16]: pág. 91). Los conceptos son construcciones, creaciones intelectuales o imágenes mentales a los cuales se enlaza un término y por medio de las cuales se comprenden las experiencias que surgen de la interacción con el entorno (mas no de la observación directa). Si un término usado por la ciencia es recogido del lenguaje ordinario se lo transforma y precisa incluyéndolo en esquemas teóricos, de tal manera que sea fructífero en el ulterior desarrollo de la ciencia.

En las presentaciones tradicionales de los conceptos científicos -entidades abstractas, condición necesaria de todo conocimiento- se suele establecer una división entre conceptos clasificatorios, comparativos y métricos. Cada uno tiene su correspondiente estructura lógica.

En el contexto de la enseñanza de la física interesa ahondar en las características de los conceptos métricos, ya que todos los términos de magnitudes físicas expresan conceptos de este tipo. 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. Estos conceptos posibilitan también representar determinadas propiedades, de los procesos, fenómenos y de los objetos involucrados en ellos, denominadas magnitudes.

En la actualidad desde diversas perspectivas epistemológicas se reconoce que el significado de un concepto no se reduce a su definición. Se coincide en señalar que el significado de los mismos está dado por el sistema teórico al que pertenece ([16], [17]).

De acuerdo con esta perspectiva contextual del significado y como se ha señalado, cada magnitud física (concepto métrico) fue introducida en el contexto de una teoría. En la definición de una magnitud, entendida en un sentido amplio y no sólo en tanto representación matemática, deben quedar contenidos todos los aspectos relevantes de la misma ([18]). Por una parte, es necesario tomar en consideración el aspecto ontológico, que contendrá una explicitación de cuál es la propiedad -o el tipo de propiedad- a la que se quiere asignar un valor numérico. Este aspecto es el correspondiente a la parte de la definición que pretende acotar, aquello que la magnitud "es", sin contener

obligatoriamente toda la información necesaria y suficiente para una precisa identificación de la característica que se desea especificar. Por otra parte, asignar un valor numérico a la propiedad a través de un proceso de medida, que incluye muchas veces otras magnitudes, nos lleva a tener en cuenta tres aspectos más.

El aspecto experimental de la definición de una magnitud debe dar cuenta de la relación entre la magnitud a medir y el montaje experimental mediante el cual se la mide; pone de manifiesto el modo de interacción que se supone entre objeto-instrumento de medición.

El aspecto formal o matemático, expresable mediante una estructura matemática (o fórmula) que la represente. A toda magnitud física, en tanto concepto métrico, es necesario asociarle una estructura matemática que permita la atribución de valores. Redish [19] sostiene que hay grandes diferencias entre los usos que hacen matemáticos y físicos de la matemática; el contexto desde el que se atribuye significado a los símbolos condiciona dicha atribución. Más aún: dentro de la física, la atribución de significado a las estructuras matemáticas depende del contexto, es decir, de la teoría física desde la que se lo haga.

Por último y dado que la mayoría de las magnitudes físicas involucra otras magnitudes, de forma tal que en conjunto conforman la estructura conceptual de una teoría, es necesario también tener en cuenta el aspecto contextual. En las definiciones de las magnitudes en el marco de cada teoría física, se suelen involucrar relaciones con otras magnitudes que aportan al significado de la misma. Para Kuhn [20] es imposible aprender el término “fuerza” si no es en relación con términos como “masa” o “peso” y recurriendo, por ejemplo, a las leyes de Newton sobre el movimiento. Los conceptos de fuerza y masa que figuran en la segunda ley de Newton diferían de los que eran habituales antes de la introducción de la ley, la ley misma fue esencial para su definición. De esta manera, el significado de los términos de magnitudes físicas de una teoría viene determinado por las leyes de dicha teoría, las cuales son aprendidas -y por tanto, también lo son los conceptos métricos contenidos en ellas- mediante su aplicación a ejemplos paradigmáticos. En diferentes teorías físicas esas relaciones pueden ser distintas. Por ejemplo, parte del significado de la magnitud masa en el contexto de la relatividad especial implica una relación con la magnitud energía que no está contenida en la mecánica clásica.

## **II b. Pensamiento científico teórico**

La incorporación de saberes y lenguajes propios de la física propuestos para los primeros años de carreras científico tecnológicas conlleva a una serie de problemas teóricos y prácticos que precisan ser discutidos desde apuestas epistemológicas, metodológicas y ontológicas direccionadas hacia una enseñanza que posibilite un aprendizaje con sentido y significado para los estudiantes. De esta forma se posibilita, a su vez, el pensamiento.

En todos los niveles educativos y en particular en el universitario, se debe enseñar a los estudiantes a pensar, es decir, a desarrollar activamente en ellos los fundamentos del pensamiento, para lo cual es necesario organizar una enseñanza que impulse el desarrollo. De acuerdo con Davidov (1988, p3) [21] se denomina enseñanza desarrollante a aquella que forma en los estudiantes un pensamiento teórico, es decir, un pensamiento que posibilite comprender y dominar el proceso de origen y desarrollo de las cosas por medio del análisis de las condiciones en que se producen las mismas. Dicho pensamiento tiene formas específicas de generalización y abstracción tales, que posibilitan a los estudiantes la formación de conceptos. Por el contrario, el pensamiento empírico implica un acercamiento fragmentado a la realidad en el que los objetos o fenómenos son representados por alguna de sus manifestaciones (en física, generalmente por una expresión matemática) y son resultado de la observación hecha por el sujeto [22]. Así, la forma lógica del pensamiento empírico se corresponde con un juicio, generado aisladamente, que no posibilita identificar las particularidades esenciales del objeto o fenómeno y la conexión interna de sus aspectos. De esta forma, el pensamiento empírico origina, en los estudiantes, la formación de conceptos resultantes de la experiencia sensorial (y de la asociación entre ésta y alguna expresión matemática), mas no de la esencia del objeto en su totalidad y su devenir, como es particularidad principal de los conceptos científicos.

Presentar y enseñar los conceptos de manera completa favorece el desarrollo de pensamiento teórico ya que esta manera posibilita al sujeto comprender la esencia del objeto estudiado y hallar las conexiones internas de las

propiedades de los objetos analizados, sus contradicciones y singularidades, como parte de un todo integrado. Según Davidov (1988) [21], el pensamiento teórico elabora los datos de la observación y los representa en forma de conceptos, expresados mediante diferentes sistemas semióticos, mediante procesos de deducción y análisis de las relaciones existentes entre las cosas al interior de un sistema (teoría de la física), identificando, cada una de las aristas necesarias para la definición de un concepto métrico, así como la relación parte-todo entre ellas. El concepto, aquí, actúa tanto como forma de reflejo del objeto/ fenómeno, como medio de su estructuración; es decir, como una “acción mental especial” (Davidov, 1988, p. 126). En este mismo sentido Moura (2010) [23] sostiene que el pensamiento teórico se desarrolla mediante una lógica que posibilita traspasar la mera identificación de los rasgos aparentes del objeto/fenómeno de la observación y su determinación como concepto a través de un término que lo designe. La tarea del pensamiento teórico es revelar el movimiento, la esencia del fenómeno, por medio del tránsito entre lo abstracto y lo concreto. Pero, tal como sostiene Davidov (1988), las abstracciones deben ser tales que develen las conexiones internas del fenómeno estudiado y, por lo tanto, el proceso de la transición de lo abstracto a lo concreto, debe revelar las contradicciones presentes en la abstracción inicial para así elaborar una transición a lo concreto que permita integrar lo singular y lo particular, la parte y el todo, del objeto/fenómeno analizado en movimiento.

Por lo dicho, se plantea la necesidad de transformar las prácticas tradicionales de enseñanza en otras que generen una transformación del pensamiento de los estudiantes, es decir, un pensamiento que transgreda la generalización empírica (producto del simple establecimiento de relaciones mediante la sola percepción) y que posibilite un análisis de aquello que es aprendido, esto es, hacia el desarrollo de un pensamiento teórico.

### III. METODOLOGÍA

Se analizó la presentación del concepto fuerza en 5 libros de texto utilizados habitualmente para el desarrollo de la unidad “Leyes de Newton” en los 4 cursos de Física I del Departamento de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Cabe señalar que los libros analizados son los que se utilizan en el resto de las universidades nacionales (públicas) y privadas del país y el continente. Los textos son los siguientes: Física de Tipler [24], Resnick [25], Serway [26], Sears [27], Alonso [28].

Las variables de análisis fueron los aspectos del concepto fuerza tenidos en cuenta y desarrolladas para su presentación: anclaje con posibles ideas previas (o conocimientos cotidianos) de los estudiantes, definición ontológica, tipo de representación necesaria para su utilización, estructura matemática necesaria para cuantificarla (características matemáticas de la representación), estructura conceptual contextual, relaciones con otras magnitudes a través de leyes físicas, estructura experimental y ejemplos de aplicación.

### IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para comprender la información contenida en la **Tabla I** valen las siguientes aclaraciones:

- Vinculación con ideas previas se refiere a si el texto apela a algún posible conocimiento o experiencia del estudiante para presentar el concepto y, en caso afirmativo, de qué se trata.
- Por definición ontológica se entiende a la explicitación de aquella propiedad o característica que se pretende cuantificar. Se evalúa si está o no presente esta definición.
- Por representación se entiende al modo en el que han de representarse las entidades susceptibles de ser vinculadas con el concepto fuerza (cuerpo puntual, sistema de partículas, etc.).

Se denomina estructura matemática al tipo de formalismo necesario para representar y manipular los valores de la magnitud fuerza. En el casillero correspondiente a estructura matemática se consigna si en el texto están o no explicitadas sus características principales.

- Se denomina estructura conceptual a la teoría de la física en la que el concepto adquiere su significado. Se señala si en cada texto está o no especificado dicho contexto.
- En el casillero destinado a las relaciones con otras magnitudes se consigna si el texto el concepto es presentado en relación a (y adquiere significado en relación con) otros a través de leyes físicas.
- Se denomina estructura experimental al tipo de diseños experimentales que permitirían medir la magnitud fuerza.
- En el casillero ejemplos de aplicación se clasifica el tipo de ejemplos de aplicación utilizados por cada texto en la introducción del concepto.

**TABLA I.** Presentación del concepto de fuerza en los libros de texto universitarios.

Libro	Vinculación con ideas previas	Definición ontológica	Representación	Estructura matemática	Contexto	Relación con otras magnitudes	Estructura experimental	Ejemplos de aplicación
Tippler	Sí. Esfuerzo muscular	NO	No especifica	No la describe	Se especifica Mecánica clásica	Velocidad	Propone un modo de “medir fuerzas”	Sólo de cálculo
Resnik	Si. Interacción cuerpo/entorno	NO. Se define operacionalmente	Si	No la describe	Se especifica Mecánica clásica	Masa, aceleración	No	Sólo cálculo luego de presentar las leyes de Newton
Serway	Sí. Esfuerzo muscular	NO	No especifica	No la describe	No especifica	Velocidad	No	Sólo cálculo luego de presentar las leyes de Newton
Sears	Sí. “Empujar” o “tirar”	Sí. Interacción entre un cuerpo y el entorno.	Sí	Sí	Se especifica Mecánica clásica	Velocidad, aceleración, masa	Parcialmente	Sí
Alonso	“tirar” “empujar”	No. Se sostiene que la definición viene dada por la segunda ley de Newton.	Si	Con mucho detalle en capítulos anteriores a la presentación del concepto	Se especifica Mecánica clásica	Velocidad, masa, aceleración	No	No en la presentación del concepto

Por cuestiones de espacio, en el presente trabajo se consignan en extenso sólo tres de los análisis efectuados sobre la presentación del concepto fuerza en los libros de texto.

En el libro de Tippler, ([24] p. 80), se inicia la presentación del concepto fuerza del siguiente modo: *“La primera y segunda ley de Newton pueden considerarse como una definición de la fuerza. Una fuerza es la causa capaz de producir en un cuerpo un cambio de velocidad, es decir, producir su aceleración. La dirección de la fuerza coincide con la dirección de la aceleración causada si se trata de una sola fuerza actuando sobre un cuerpo. La magnitud de la fuerza es el producto de la masa del cuerpo por la magnitud de la aceleración producida. Esta definición de fuerza está de acuerdo con nuestra idea intuitiva de la acción de tirar o empujar realizada por los músculos.”*

En la definición anterior se observa una apelación al pensamiento empírico que origina en el estudiante la formación del concepto de fuerza como resultado de la generalización de una sensación -esfuerzo muscular- y no posibilita la identificación de las particularidades esenciales del concepto. Se apela a ideas previas de los estudiantes

que podrían generar confusiones en relación al significado del término fuerza en el contexto de la física. En lo siguiente el texto utiliza el término fuerza como sinónimo de la expresión producto de la masa (de un cuerpo) por la magnitud de la aceleración producida, es decir, se confunde la delimitación de la característica física que se nombra con su representación matemática.

Esta presentación del concepto no es completa: no explicita la teoría física en cuyo contexto se está definiendo lo que puede llevar al estudiante a creer que el término designa el mismo concepto con las mismas características en cualquier teoría de la física. Tampoco se explicita el modo en el que han de representarse los objetos para estudiar las interacciones entre ellos. Por lo tanto, este modo de presentación de un concepto no favorece el desarrollo del pensamiento científico teórico en los estudiantes.

En el Volumen 1 del libro Física de Resnick, ([25] p.41 y 42) la definición del concepto es más completa y debe rastrearse en la presentación del capítulo 3 “Fuerza y las leyes de Newton”. *“En mecánica clásica nos concentramos en el movimiento de un objeto en particular que interactúa con otros circundantes (su ambiente), de modo que su velocidad cambia...”* *“...comenzamos tratando los objetos físicos como partículas, cuya estructura o movimiento interno pueden ignorarse y cuyas partes (podemos pensar que) se mueven exactamente en la misma forma. No importa, pues, en qué parte del objeto opera el ambiente; nos concentramos en el efecto neto de todas las interacciones con él. La interacción de un cuerpo con su ambiente la describimos en función de una fuerza  $F$ . La fuerza es un empuje o una tracción en una dirección determinada. Se describe por medio de vectores...”*

En esta definición se intenta introducir el concepto construyendo a través de varios párrafos -no todos consignados en este trabajo- una definición que va más allá de una relación matemática expresada verbalmente. Se presenta el tipo de representación que la física debe construir -en el marco de la mecánica clásica- para dar contexto al concepto métrico fuerza y favorecer la idea de que se trata de un modo de describir las interacciones entre un objeto físico (no un objeto cualquiera sino la representación que la física necesita hacer de él para describir y explicar su estado de movimiento) y su entorno. En los párrafos y secciones siguientes se siguen presentando características del concepto como su representación matemática, el tipo de marco de referencia que es necesario establecer para aplicar las leyes de Newton y, por último, una definición operacional del concepto.

En el texto de Física de Serway ([26] p. 100) se comienza la introducción del concepto de fuerza apelando a la experiencia cotidiana: *“Cuando aleja un plato de comida vacío, ejerce una fuerza sobre él. De igual modo, cuando se lanza o pateo una pelota se ejerce una fuerza sobre ella. En estos ejemplos, la palabra fuerza se refiere a una interacción con un objeto mediante actividad muscular y algún cambio en la velocidad del objeto. Sin embargo, las fuerzas no siempre causan movimiento. Por ejemplo, cuando está sentado, sobre su cuerpo actúa una fuerza gravitacional y aun así usted permanece fijo.”*

A continuación se establece una diferencia entre fuerzas de contacto y de campo, para luego explicar que tal distinción no es tan clara ya que *“Cuando se examinan a nivel atómico, todas las fuerzas que se clasifican como fuerzas de contacto resultan ser causadas por fuerzas (de campo) eléctricas. No obstante, al desarrollar modelos para fenómenos macroscópicos, es conveniente usar ambas clasificaciones de fuerzas.”*

Respecto del tipo de representación que la física utiliza para las fuerzas, sólo se señala su naturaleza vectorial y luego de presentar un único ejemplo acerca de un resorte sostiene: *“Puesto que se ha comprobado experimentalmente que las fuerzas se comportan como vectores, debe aplicar las reglas de suma vectorial para obtener la fuerza neta sobre un objeto.”*

Se observa una presentación incompleta del concepto de fuerza en todos los libros analizados.

## V. PROPUESTA

En función de lo observado en diversas clases y del estilo de los libros de texto normalmente utilizados en cursos de Física I, cabe preguntarnos cómo es posible contribuir en los procesos formativos de conceptos en física y, a través de ello, favorecer el desarrollo del pensamiento científico de los estudiantes.

El modo en el que lo intentamos en las clases de Física I para las carreras del departamento de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes -Licenciatura en Biotecnología, Ingeniería en Alimentos, Ingeniería en Automatización y Control Industrial y Arquitectura Naval- presentando y trabajando de manera completa cada concepto. La introducción de cada nuevo concepto se hace de manera teórico práctica, es decir, atendiendo a las distintas características que determinan el significado físico del concepto, esto es: partiendo de los posibles conocimientos que tengan los estudiantes al respecto, se recorta aquella propiedad física que se pretende estudiar, se analiza el modelo teórico disponible para dicho estudio y el tipo de representación necesaria para su representación, la estructura matemática necesaria para cuantificarla, las relaciones con otras magnitudes a través de leyes físicas, su estructura experimental y algunos ejemplos de cómo puede ser aplicada.

En lo siguiente se presenta un ejemplo de ejercicio que se utiliza para verificar si la atribución de significado al concepto fuerza fue completa.

Analice el significado físico de la siguiente expresión:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Explique el contenido físico de cada uno de los miembros de la ecuación así como el significado específico que tiene el signo igual en la expresión y especifique los límites de validez de la ley representada en la expresión.

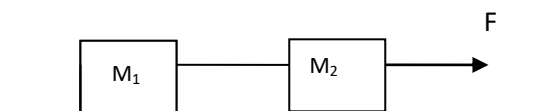
Actividad de control 1 a

**FIGURA 1.** Actividad de control 1a.

La actividad anterior se complementa con una situación problemática en la que la segunda ley de Newton debe ser utilizada:

Dos bloques con masas  $M_1$  y  $M_2$  se encuentran sobre un plano horizontal como muestra la figura. La fuerza aplicada es de módulo  $F$  y tiene la dirección y el sentido especificados en la figura. Considerar despreciable el roce con la superficie de apoyo.

- ¿Cómo representaría la situación? Justificar la elección.
- Identificar todas las interacciones presentes y representar las fuerzas asociadas sobre cada bloque y sobre la soga, indicando claramente cuáles son pares de interacción.
- Aplicar la segunda ley de Newton para determinar las aceleraciones de los diferentes cuerpos y las tensiones en las diferentes cuerdas. ¿Resulta necesario hacer consideraciones (además de las indicadas en el enunciado) para poder resolver el problema? ¿Cuáles y qué implican? ¿Es adecuada la representación elegida en el inciso a)?



Actividad de control 1b

**FIGURA II.** Actividad de control 1b.



Los objetivos pedagógicos de la actividad anterior son:

Parte 1a: que el estudiante “lea” la expresión más allá de la estructura matemática (los operadores matemáticos que aparecen, el carácter vectorial de dos de las tres magnitudes involucradas, el signo igual, etc.) de la misma y que interprete que, en este caso, el signo igual tiene un significado vinculado con la noción de causa-efecto.

Parte 1b:

El problema propuesto es típico y puede encontrarse en muchos de los libros de texto de Física I, pero formulado de otro modo. La reformulación presentada intenta acercar al estudiante a una resolución completa del problema en la que se vincule el modo de representación de los objetos -cuerpo puntual, sistema de partículas, cuerpo rígido- con las herramientas teóricas necesarias para operar con la representación seleccionada (leyes, definiciones, expresiones matemáticas que vinculan a distintas magnitudes físicas). Se pretende introducir además algunos de los supuestos que se utilizan en física, mostrando que surgen de la necesidad de resolver el problema con los recursos teóricos disponibles. El objetivo a largo plazo es que los estudiantes no sólo sepan qué consideraciones hacer sino qué implicancia tiene cada una de ellas.

¿Qué se pretende lograr con cada uno de los incisos del problema?

Que el estudiante,

- a) identifique el modo más adecuado de representar cada uno de los objetos presentes en el problema. Favorecer la comprensión de que la física no aplica sus herramientas teóricas sobre el mundo sino sobre una representación que el mundo hace,
- b) identifique las interacciones y refuerce la idea de que las fuerzas con las que se trabaja en el curso son el modo que usa la física para representar sobre cada cuerpo la interacción con otro y que, por lo tanto, toda fuerza tiene un par de interacción y
- c) aplique una ley física e identifique la consideración de soga inextensible y masa despreciable como una necesidad que surge en la resolución del problema. Verificar si el modo de representación seleccionado.

## VI. CONCLUSIONES

Muchas de las clases teóricas y prácticas de física universitaria, así como muchos de los textos que se utilizan como soporte para dichas clases están sujetos a una enseñanza que no favorece el pensamiento científico teórico. Contrariamente, se fomenta en los estudiantes un pensamiento empírico; un tipo de pensamiento que dificulta el acercamiento teórico de los estudiantes al conocimiento. De esta manera la enseñanza de la física a nivel universitario influye poco en el desarrollo de las capacidades intelectuales de los estudiantes. La mayor parte de los problemas propuestos por los libros de texto implican una mera resolución matemática de ciertas situaciones, desatendiendo el contenido físico implicado en las expresiones matemáticas utilizadas.

Presentar y enseñar los conceptos de manera completa favorece el desarrollo de pensamiento científico teórico ya que de esta manera se posibilita que el sujeto que aprende comprenda la esencia del objeto estudiado y halle las conexiones internas de las propiedades de los objetos/fenómenos analizados, sus contradicciones y singularidades, como parte de un todo integrado. Ningún contenido puede ser aprendido a través de una única y parcial presentación basada en sólo una de las características estáticas del mismo. Asimismo, es necesario enseñar al lenguaje adecuado para comunicar el contenido propio de cada disciplina y en particular el de la física. Lenguaje y pensamiento se desarrollan vinculada y simultáneamente.

Las prácticas educativas deben transformarse con el fin de permitir y fomentar el desarrollo del pensamiento científico teórico en los estudiantes universitarios. Desde una enseñanza adecuada de la física puede potenciarse la adquisición de este tipo de pensamiento.

**REFERENCIAS**

- [1] Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Editorial Paidós.
- [2] Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, 8-32.
- [3] Sutton, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 21-25.
- [4] Vygotsky, L. (1992). *Pensamiento y lenguaje*. Madrid: Alianza.
- [5] Campanario, J.M., Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2).
- [6] Redish, E., *Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses*. Proceedings of ICPE, Delhi, India, (2005).
- [7] 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).
- [8] Sardà Jorge, A y Sanmartí Puig, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de Ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 405-422.
- [9] Sanmartí, N., (1997). Enseñar a elaborar textos científicos en las clases de ciencias. *Alambique*, 12, 51-61.
- [10] Caamaño, A. (1998). Problemas en el aprendizaje de la terminología científica. *Alambique*, 17, 5-10.
- [11] Redish, E., *Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses*. Proceedings of ICPE, Delhi, India, (2005).
- [12] Salinas, J. (2002). *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.
- [13] Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics, *Cognition and Instruction* 12, 151-183
- [14] Ragout, S. y Cárdenas, M. (1999). 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, Argentina, pp. 182-188.
- [15] Cudmani, L., Salinas, J. y Pesa, M. (1995). Distintos tipos de constantes en física y aprendizaje significativo de la disciplina, *Enseñanza de las Ciencias* 13, 237-247.
- [16] Díez, J. A, Moulines, C. U. (1997). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Editorial Ariel, Barcelona.
- [17] Hempel, C. G. (1988). *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*. Alianza Editorial, Madrid.
- [18] Fleisner, A. (2011). Hacia una teoría de la referencia para los términos de magnitudes físicas, *Revista Latinoamericana de Filosofía*, 37, 5-33.
- [19] Redish, E. (2005). *Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses*. Proceedings of ICPE, Delhi, India.
- [20] Kuhn, T. (1990). Dubbing and Redubbing: The Vulnerability of Rigid Designation, en C.W. Savage (ed.), *Scientific Theories (Minnesota Studies in Philosophy of Science, Vol. 14, Minneapolis, University of Minnesota Press*, pp. 298-318.
- [21] Davidov V. (1988). *La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico*. Investigación psicológica teórica y experimental. Moscú: Progreso.
- [22] Kopnin, P.V. (1978). *A Dialéctica como Lógica y Teoría do Conhecimento*. Río de Janeiro: Civilização Brasileira.
- [23] Moura, M. O. (2010 Comp). *A atividade pedagógica na teoria Histórico- Cultural*. Brasilia: Liber libro.
- [24] Tipler, P. (1998). *Física\**. 3ra ed. Bilbao, EDITORIAL REVERTE.
- [25] Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2010). *Física*. Volumen 1, 8va ed. México DF: Grupo editorial Patria.
- [26] Serway, R., Jewett, J. (2004), *Physics for Scientist and Engineers*. 6ta ed. Thompson Broocks/Cole.
- [27] Hugh, D. y Freedman, R. (2009). *Sears \* Zemansky, Física Universitaria*. Volumen 1. México, Addison Wesley. Pearson Educación.
- [28] Alonso, M. y Finn, E. (1970) *Física*. Vol. 1. Mecánica. España: Fondo Educativo Interamericano.