

Conceptos métricos y enunciados en física: ideas de los docentes

Cristina Wainmaier¹, Cristina Speltini², Ana Fleisner¹

¹ Universidad Nacional de Quilmes, Dto. Ciencia y Tecnología

² Universidad Tecnológica Nacional, Reg. Avellaneda

E-mail: cwainmaier@unq.edu.ar

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Resumen

La comprensión de la naturaleza de la ciencia por parte de los profesores está recibiendo una atención prioritaria en la educación científica y en la investigación que se viene desarrollando en didáctica de las ciencias. En este trabajo, de carácter exploratorio, presentamos algunas ideas de los profesores de ciencias vinculadas con la naturaleza epistemológica de los conceptos métricos de la física y enunciados en los que ellos intervienen. Las mismas fueron relevadas en el marco de diversas actividades de formación en didáctica de la física. El análisis de los resultados - obtenidos a partir de un cuestionario diseñado *ad hoc* - permitió identificar incomprendiones y limitaciones epistemológicas vinculadas con la dependencia del significado de los conceptos científicos fácticos con el contexto al que pertenecen, con la idea de que los conceptos científicos fácticos son creaciones intelectuales que trascienden los hechos y con la distinción entre definiciones y leyes.

Palabras clave: Epistemología, Conceptos métricos, Leyes, Definiciones, Ideas de los profesores.

Abstract

Understanding of the nature of science by teachers is receiving priority attention both in science education and in didactics of sciences research. In this exploratory work, we present some teacher's epistemological ideas linked to metrical concepts of physics and statements in which they are involved, in surveyed under various training activities in physics didactics. The analysis of the results, relieved from an *ad hoc* survey, allowed to identify misunderstandings and epistemological limitations related to: the dependence of the factual meaning of scientific concepts to the context to which they belong, the idea that the factual scientific concepts are intellectual creations that transcend the facts, and the distinction between definitions and laws.

Keywords: Epistemology, Metrical concepts, Definitions, Laws, Teacher's ideas

I. INTRODUCCIÓN

Por diferentes motivos el estudio vinculado con las ideas de los docentes sobre la naturaleza de la ciencia (NdC), que reconoce antecedentes en la década del 60 e incluso antes, está recibiendo una atención prioritaria en la educación científica y en la investigación que se viene desarrollando en didáctica de las ciencias (Acedo, 2008).

Aduriz Bravo (2001) propone diferenciar a lo largo del tiempo cuatro perspectivas de estudio: las concepciones epistemológicas alternativas; el pensamiento epistemológico del profesor; la fundamentación epistemológica de la práctica del profesorado (que dirige la atención ya no en el pensamiento del profesor sino en su actividad en el aula) y el enfoque HPST (history and philosophy of science teaching) que reconoce la integración entre la epistemología y la educación científica y, con ello, la incorporación en la enseñanza de la NdC y al docente como mediador de tal integración.

Desde estas líneas -que han dado lugar a diversas referencias operativas vinculadas con la NdC- se presenta un campo amplio de estudios que ha conducido a un número importante de publicaciones sobre las visiones de los docentes, que engloba aspectos vinculados con los valores y características filosóficas inherentes al conocimiento científico así como aspectos externos. Esto es de esperar si se reconoce que un conocimiento de aspectos vinculados con la naturaleza de la ciencia puede brindar valiosos elementos de juicio para abordar la práctica docente y si se acepta que las mejoras en el aprendizaje de los estudiantes depende, en gran parte, de una formación profesional apropiada (Salinas y Cudmani, 1993; Acedo, 2008).

Los resultados de las investigaciones indican consistentemente que los profesores sostienen ideas inadecuadas respecto a las concepciones actuales procedentes de la historia, filosofía y sociología de la ciencia. Entre otras cosas creen que el conocimiento científico se desarrolla en diferentes estadios (hipótesis, teorías y leyes), que es definitivo, estático, verdadero y absoluto, por corresponder a hechos. Consideran que el conocimiento científico no es diferente de otros tipos de conocimiento; que se genera aplicando un método universal, único, de etapas estandarizadas que prueba el conocimiento y está libre de interferencias contextuales. Piensan que los científicos se limitan a aplicar el método, registrar hechos que hablan por sí mismos, y a organizar el conocimiento científico, sin apelar a la creatividad o la imaginación, al marco teórico previo, ni a la interpretación de las observaciones y hechos (Koulaidis y Ogborn 1989; Lederman, 1992; Levitt 2001; Celik y Bayrakçeken, 2006; Irez, 2006). En el mismo sentido Fernández et al. (2002), a partir de un análisis de múltiples trabajos, destaca diversas visiones deformadas de la actividad científica: visión empiroinductivista y atórica; algorítmica, exacta, infalible; apromblemática y ahistórica; individualisa, descontextualizada y socialmente neutra, entre otras.

Este campo fructífero de estudios no está exento de polémicas. Así, cabe señalar la falta de acuerdo respecto a la concepción del término NdC en el ámbito de la didáctica de las ciencias (algunos centran la atención en cuestiones epistemológicas, otros proponen sumas a éstas cuestiones psicológicas y sociológicas que caracterizan a las ciencias), como las diversas observaciones que se formulan derivadas de las limitaciones metodológicas de los instrumentos empleados en las investigaciones (Koulaidis y Ogborn, 1995; Acevedo 2008; Marín y Benarroch, 2009, entre otros). También se advierte que los intentos de clasificación de las creencias del profesorado sobre la NdC en una posición filosófica determinada parece ser una visión simplista: tales creencias son bastante complejas y suelen incluir rasgos de más de una de esas posiciones (Abd-El-Khalick, Bell y Lederman, 1998). Además algunas investigaciones muestran que el vínculo entre la naturaleza de la ciencia y algunas variables de los procesos de enseñanza y de aprendizaje son un campo controvertido, poniendo en duda la existencia de una relación directa entre las creencias de los profesores sobre la NdC y su práctica docente, así como entre las creencias acerca de la NdC de los profesores y los aprendizajes de los estudiantes (Wilson y Cowell 1982; Lederman 1999; Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Peme y et al., 2005). En ese sentido se sostiene que si bien parece necesaria una adecuada comprensión de la NdC por el profesorado, ésta es insuficiente para conseguir una mejora de las creencias de los estudiantes sobre la NdC y, por otro lado, que la relación entre las creencias del profesorado sobre la NdC y su práctica docente no es tan lineal y sí mucho más compleja. Sin embargo, existen datos experimentales que apoyan no sólo la importancia de las cuestiones epistemológicas para la enseñanza de las ciencias sino para la formación del futuro profesional que trabajará en ciencias (Koulaidis & Ogborn, 1995).

A pesar de las distintas opiniones se reconoce que toda práctica docente se apoya, entre otros aspectos, en concepciones epistemológicas -muchas de las cuales no acuerdan con las visiones actuales- elaboradas informalmente como resultado de las experiencias e interacciones en las que han participado como estudiantes, y en las que participan como docentes (Gil, 1990). Dado que estas cuestiones no son usualmente explícitas resulta necesario conocerlas, a fin de emprender acciones en torno a las mismas que mejoren las prácticas (Lederman, 1999).

En este trabajo, en concordancia con lo informado por Koulaidis & Ogborn (1989), se acepta la correlación entre aspectos ontológicos y pedagógicos de los docentes, hecho que nos lleva a considerar que los aspectos epistemológicos subyacen en los fundamentos de la práctica docente, aunque no siempre se los explicita. Además no adherimos a una relación simple y lineal entre las ideas epistemológicas de los docentes, la enseñanza y el aprendizaje. Consideramos que son necesarias -pero no suficientes- visiones apropiadas sobre la naturaleza epistemológica de la disciplina que se enseña para favorecer esos procesos.

La labor docente que venimos desarrollando desde hace años en diversos ámbitos de formación de profesores, nos permitió detectar incomprendiones y limitaciones en torno a diversos aspectos vinculados con la NdC. A la luz de los antecedentes mencionados y en el marco de diversas investigaciones que venimos desarrollando vinculadas con el lenguaje de las ciencias, pareció interesante realizar un estudio exploratorio de carácter sistemático que permitiera relevar ideas de los profesores de ciencias vinculadas con este campo.

En este trabajo, que forma parte de un estudio más amplio, presentamos resultados vinculados con ideas de los profesores relacionadas con la naturaleza epistemológica de los conceptos métricos y los enunciados en los que ellos intervienen. Nos propusimos indagar si los profesores:

- reconocen la dependencia crucial del significado de los conceptos con el contexto al que pertenecen,
- conciben a los conceptos científicos fácticos como creaciones intelectuales que trascienden los hechos,
- distinguen entre definiciones y leyes.

II. CONCEPTOS MÉTRICOS Y ENUNCIADOS EN FÍSICA

A- El significado de un concepto físico: las notas características de las magnitudes físicas

El vocabulario utilizado por los científicos consta de un conjunto de señales convencionales (signos) que pertenecen a uno o más lenguajes. En el lenguaje construido por las ciencias fácticas es posible identificar: palabras o términos de algún lenguaje natural (por ejemplo el castellano), expresiones o términos provenientes de las ciencias formales (lógica y matemática) y un conjunto de expresiones o términos técnicos introducidos por una teoría, o bien ya existente en el lenguaje ordinario, pero al que se le ha asignado nuevo significado en el contexto de una teoría. En este entramado resulta común definir a los conceptos como unidades cognitivas de significado, ideas abstractas o mentales o "unidades de conocimiento".

Los conceptos son construcciones, creaciones intelectuales o imágenes mentales a los que enlazamos un término, y por medio de los cuales comprendemos las experiencias que surgen de la interacción con el entorno (mas no de la observación directa). Los científicos conjeturan lo que hay detrás de los hechos observados e inventan conceptos (tales como energía, campo) que carecen de correlato empírico, aún cuando presumiblemente se refieren a cosas, cualidades o relaciones existentes objetivamente (Bunge, 1980). El carácter abstracto de las nociones científicas, así como su presunta lejanía de las características que presentan las cosas en la experiencia cotidiana, son concomitantes inevitables de la búsqueda de explicaciones sistemáticas y de gran alcance (Nagel, 1981). Cabe distinguir la búsqueda de claridad y precisión de los conceptos científicos fácticos: de la comprensión compartida de sus significados por parte de quienes los usan, dependerá -en gran medida- el rigor y la objetividad del marco teórico al que pertenecen. 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 (Bunge, 1980). Es de destacar que todo sistema de conceptos atraviesa estados de evolución (Toulmin, 1977).

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. Como señala Mosterín (2000) un concepto científico, que empleamos para pensar sobre las cosas y hablar de ellas, puede tener la propiedad de ser comparativo o métrico, clasificatorio o cualitativo, pero dicha propiedad es *del* concepto y no de las cosas.

En el contexto de nuestro trabajo nos 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 a que éste concepto pertenece. Bunge (1980) señala que en las ciencias fácticas la definición de un concepto no agota su significado y menciona diversos procedimientos adicionales para especificar la significación de un concepto: las ejemplificaciones, las clasificaciones, las referencias operativas y, sobre todo, la formulación e interrelación de leyes. Hempel (1973) afirma que para entender el significado de un término científico y usarlo con propiedad se debe conocer su papel sistemático, indicado por los principios teóricos en los que funciona y que lo conectan con otros términos teóricos.

Entendemos que en la definición de una magnitud, considerada en un sentido amplio y no sólo en tanto representación matemática, deben quedar contenidos todos los aspectos relevantes de la misma. Estimamos que éstos son cuatro y que cada magnitud física fue introducida en el contexto de una teoría (Fleisner, 2011).

Por una parte, es necesario tomar en consideración el aspecto que denominaremos “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 regularidad/característica que se desea especificar. Es decir, este aspecto de la definición sólo delimita alguna propiedad, con independencia de la forma en la que la magnitud podrá ser

luego medida y con independencia también de las relaciones que pueda establecer con todas y cada una de las restantes magnitudes definidas en una determinada teoría. Ejemplo de este aspecto de una definición pueden ser las definiciones de la magnitud masa como la cantidad de materia que posee un cuerpo (masa inercial) o como propiedad en virtud de la cual los objetos se atraen (masa gravitatoria).

Además, 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. Por ejemplo, podemos señalar las diferencias significativas que existen entre el modo en el que la incertidumbre experimental es concebida en el contexto de la mecánica clásica y la mecánica cuántica. En la primera no hay barrera teórica para el perfeccionamiento de los instrumentos y los procedimientos experimentales: en principio sería posible efectuar las mediciones con una incertidumbre arbitrariamente pequeña. En la segunda esta barrera viene dada por las relaciones de incertidumbre de Heisenberg y resulta prácticamente imposible medir en forma simultánea magnitudes complementarias con precisión infinita. Llegados a este punto cabe introducir una importante aclaración respecto de la naturaleza de la observación y la formulación de conceptos. Sostenemos, en coincidencia con Heisenberg (1959) que tanto en el marco teórico de la mecánica cuántica como en el clásico, las condiciones de observabilidad se establecen desde la teoría, es decir que no vienen dadas por las condiciones de experimentación. En el caso de la mecánica cuántica, el principio de indeterminación establece la máxima precisión con la que pueden conectarse formalismo matemático y experiencia. Es siempre la teoría quien marca límites máximos de precisión en la operación de medición, independientes de los instrumentos utilizados y limita así la validez en la aplicación de los conceptos.

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. La definición de cualquier magnitud involucra, al menos implícitamente, definiciones de magnitudes como el espacio y el tiempo. Estas magnitudes implican a su vez una determinada estructura matemática, ya que definen cuestiones básicas como el tipo de lugar en el que las entidades que presentan la propiedad o atributo –que hemos denominado magnitud física– están contenidas, y la relación entre este lugar y el orden temporal de los distintos sucesos. Así, la estructura que forman el espacio y el tiempo en el contexto de la física clásica es distinta de la estructura del espacio y el tiempo en un contexto cuántico, y distinto a su vez en el contexto relativista. Estas estructuras matemáticas implican un tipo de métrica que influirá en la representación del resto de las magnitudes definidas en el marco de los distintos contextos. De esta forma, aunque dos expresiones matemáticas de una supuesta misma magnitud presenten una estructura similar, en marcos teóricos distintos pueden implicar métricas distintas.

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 magnitud. En distintas 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. Los términos de género natural que incluyen los términos de magnitudes físicas, se aprenden simultáneamente con otros y a través de situaciones en las que conjuntamente ejemplifican alguna ley. Para Kuhn (1990) 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 términos de género natural contenidas en ellas– mediante su aplicación a ejemplos paradigmáticos.

B. Las relaciones entre conceptos métricos

En relación al lenguaje simbólico de la Física es de destacar que en el proceso de construcción del conocimiento científico sobre el mundo se dio un paso fundamental cuando, en el siglo XVII, se comenzó a analizar y describir la naturaleza por medio de la matemática y se adoptó una metodología que integra la experimentación con la lógica (Blanché 1969, Koyré, 1978). Sin embargo, el profundo vínculo que relaciona a la física con la matemática no debilita las sustanciales diferencias entre ambas ciencias. Los recursos formales – matemáticos y lógicos – son fundamentales en el análisis y la descripción de la

naturaleza, pero su uso exige considerar las diferencias sustanciales entre enunciados formales y fácticos (Bunge 1980, Salinas 2007).

Todo enunciado formal, por ejemplo una relación de identidad o igualdad formal, debe entenderse y “leerse” atendiendo al tipo de conceptos que simbolizan cada una de las variables en juego. En el caso particular de la física es de vital importancia tener presente todas las características o notas propias de cada concepto involucrado en el enunciado. Cuando alguna de las características de los conceptos involucrados no es tenida en cuenta, puede producirse una mala lectura del enunciado en el sentido de no poder diferenciar si dicha relación simboliza o esquematiza una ley física, una definición ontológica o una relación operacional, lo que a su vez implica no conocer los límites de validez ni el contexto de aplicabilidad del enunciado.

Por otra parte cabe establecer una clara distinción entre las definiciones en el marco de la física y las leyes, por más que ambas puedan ser representadas matemáticamente como enunciados de igualdad. Las definiciones son proposiciones analíticas, aún cuando lo que se defina sea un concepto fáctico. Son convenciones, equivalencias entre dos grupos de términos; ninguna operación puede confirmarlas o negarlas y sólo admiten un análisis lógico o matemático, su validez se establece por convención (Salinas 2002). En el ámbito de la mecánica newtoniana no cabe controlar, por ejemplo, si se cumple que la componente x de la velocidad media de una partícula coincide con la razón del desplazamiento Δx al intervalo de tiempo Δt . En cambio, las leyes de las ciencias fácticas son proposiciones contingentes, hipótesis confirmadas fácticamente. Las mismas expresan relaciones invariantes y de dependencia entre aspectos seleccionados de modelos ideales de hechos del mundo. De modo que son enunciados que pueden (o no) verificarse en sistemas físicos acordes a los supuestos del modelo. En el ámbito de la Mecánica Newtoniana la validez de, por ejemplo, la relación teórica entre velocidad final y altura inicial establecida por la ley de la caída libre, debe controlarse empíricamente para cuerpos concretos (Cudmani y Salinas 1991).

Son de destacar las funciones diferentes desempeñadas por las leyes (que describen, predicen y en algunos casos explican el comportamiento de sistemas físicos) y las definiciones (que son un medio para asignar significados a los conceptos). Epistemológicamente y semánticamente existen diferencias sustanciales entre definiciones y leyes, sin embargo al simbolizarlas lo hacemos estableciendo igualdades. En matemática, la igualdad es una relación que cumple con la propiedad de reflexividad, simetría y transitividad. En Física un signo igual, por ejemplo en el caso de que se emplee en una definición, no cumple con esas propiedades. En matemática “es” y “son” equivalen a “igual a”. No ocurre así en Física, donde el signo “igual” se interpreta con sentidos diferentes, dependiendo del contexto en que se presente (Ragout et al. 1999) y, de acuerdo con la característica del concepto a la que se esté haciendo alusión en dicho enunciado.

III. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La investigación llevada a cabo ha sido exploratoria con sesgos cualitativos. Para analizar las visiones epistemológicas de los docentes se elaboró un cuestionario conformado por seis actividades (ver Anexo). El mismo se diseñó a partir de enunciados empleados en otras investigaciones (Wainmaier, 2003), que fueron adaptados considerando la población bajo análisis.

Para tratar de lograr una confiabilidad elevada, el cuestionario se conformó por más de una cuestión que apuntara a un mismo aspecto epistemológico. En todos los ítems pedimos una justificación de la respuesta, a fin de que los docentes se vieran comprometidos a emitir juicios sobre las mismas. Pretendimos con esto también controlar las fundamentaciones y obtener pistas sobre el tipo de explicación elaborada. Cada vez que fue posible se requirió la mención de ejemplos. Para la validación del instrumento se sometió al mismo a juicio crítico de otros docentes investigadores. Las versiones finales fueron sometidas a prueba piloto con una población similar.

El cuestionario se suministró a un total de 64 profesores. Fue administrado por escrito y resuelto en forma individual y domiciliaria, en el marco de diversas instancias de formación docente -de grado y de posgrado- vinculadas con la didáctica de la física.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Dependencia del significado de los conceptos científicos fácticos con el contexto al que pertenecen.

Corresponde a las cuestiones planteadas en las actividades 1 y 2.

a. Las respuestas brindadas a cuestiones vinculadas con el significado que tienen los conceptos usados en la ciencia y en la vida cotidiana (tales como energía, fuerza, trabajo) según las categorías establecidas se muestran en la Tabla I.

TABLA I. Significado de los conceptos científicos en los ámbitos científico y cotidiano.

No tienen igual significado	Si tienen igual significado	Algunos si otros no
50%	30%	20%

Un análisis de las respuestas dadas permite advertir que:

- Un número considerable de profesores sostiene adecuadamente que todos los conceptos tienen significados diferentes en ambos ámbitos. Al justificar sus posiciones unos pocos dan alguna idea de que el significado depende del contexto (10/32). Por ejemplo se afirma: *“en física los conceptos son más precisos, eso se debe a que es otro contexto”*; *“ambos ámbitos tienen objetivos diferentes y metodologías diferentes para construirlos, se basan en paradigmas distintos”*. Otros enumeran características de los conceptos según el ámbito (precisión vs. ambigüedad, 13/32). El resto (9/32) tan sólo brinda ejemplos que ilustran las diferencias

- Un porcentaje no menor afirma que todos los conceptos tienen el mismo significado en ambos ámbitos (30%). Las justificaciones refieren a un mal uso del significado de los conceptos en el ámbito cotidiano: incorrectamente asignan a las ciencias el atributo de dar el verdadero significado. Por ejemplo: *“no tienen significado diferente; lo que pasa es que la gente los piensa mal”*.

- Los que señalan que algunos conceptos si tienen igual significado y otros no (20%), generalmente brindan sólo ejemplos ilustrativos. Al analizar los ejemplos que dan los profesores, se advierte alguna indiferenciación de conceptos afines dentro del campo de la Física, particularmente entre fuerza y trabajo. Por ejemplo se afirma: *“trabajo es la fuerza aplicada sobre un objeto a lo largo de un desplazamiento”*.

b. Las respuestas a la actividad 2, relacionada con los mecanismos idóneos para asignar y precisar el significado de un concepto científico fáctico, se han organizado según cuatro categorías que se muestran en la Tabla II.

TABLA II. Modos de asignar y precisar el significado de conceptos.

Por interacción con el marco teórico	Por definición, ejemplos, uso de experimentación	Sólo por definición	Respuestas vagas No contesta
11%	81%	3%	5%

La mayoría de los profesores reconocen diferentes procedimientos para asignar y usar con propiedad los conceptos. En las respuestas prevalece la idea de que además de la definición, dar ejemplos de aplicación en diferentes situaciones (*“usarlos en la vida cotidiana”, “en casos concretos, “en problemas”*) o hacer uso de la experimentación son procedimientos útiles (81%). Sólo unos pocos dan alguna idea de la importancia de la teoría científica a la que pertenece el concepto para comprender su significado y usarlo con propiedad (11%). Se afirma, por ejemplo: *“se necesita la definición, ejemplos y un marco teórico”*; *“la definición es una primera aproximación, diferenciarlo con otros, relacionarlos con otros dentro del mismo marco teórico es un modo de enriquecer el significado”*.

B. Los conceptos científicos fácticos son creaciones intelectuales que trascienden los hechos.

Corresponden a las cuestiones planteadas en las actividades 3 y 4. Las respuestas se han organizado según las cuatro categorías que se muestran en la Tabla III.

TABLA III. Origen de los conceptos científicos fácticos.

Surgen interjuego entre mente y naturaleza	Están en la naturaleza		Respuestas vagas No contesta
	Surgen de observación pura	No surgen de observación pura	
44%	8%	34%	14%

Prácticamente la mitad de los profesores sostienen ideas próximas al marco teórico adoptado, dando cuenta que los conceptos científicos fácticos surgen a través del interjuego entre una actividad mental creativa/modeladora y la observación del comportamiento de la naturaleza (44%). Por ejemplo señalan: *“los científicos interpretan los hechos e inventan conceptos que no surgen sólo de la observación, es*

importante lo que los científicos piensan”. “Los científicos con todo su bagaje de conocimientos, intentan crear ideas para interpretar la realidad, esas ideas pueden modificarse en el tiempo”... “la gravedad no es algo que puede verse, vemos los cuerpos caer y lo interpretamos con esa idea”.

Un porcentaje importante considera que los conceptos están en la naturaleza: confunden los hechos con ideas construidas para interpretarlos (42%). Dentro de esa categoría la mayoría reconoce la carga teórica de las observaciones, aludiendo a que los conceptos no surgen de la observación pura: la interpretación de los fenómenos, las inferencias, el interés, el pensamiento de los científicos, también entran en juego (34%). Por ejemplo: “los científicos observan e interpretan el mundo y descubren, por ejemplo, la gravedad que es real”. Unos pocos sostienen que los conceptos son descubiertos a partir de la “observación de los fenómenos” (8%); por ejemplo se afirma: “Newton explicó cómo funcionaba la gravedad, desde la observación y la experiencia sensorial inmediata: la caída de los objetos”.

C. Diferencias entre definiciones y leyes.

Corresponde a las cuestiones planteadas en las actividades 5 y 6 del Anexo.

Las respuestas dadas a los diferentes ítems vinculados con el reconocimiento de diferencias entre definiciones y leyes, muestran que los docentes tienen serias dificultades al respecto.

a. Se evidencian dificultades para dilucidar, en casos concretos, si diferentes expresiones dadas en lenguaje matemático -algunas de las cuales se ilustran en el Anexo- corresponden a leyes o a definiciones: muy pocos docentes clasifican correctamente a todas (11%). Así, por ejemplo, un número importante considera como definición de trabajo a la expresión $W = \Delta E_C$, y como una ley a $E_M = E_C + E_P$, algunos señalan que se trata de la ley de conservación de la energía mecánica. Un porcentaje importante no reconoce como leyes a las expresiones de la posición en función del tiempo para el MRU y MRUV, se refieren a: “fórmula”, “ecuación”, “función”, “expresión” (53%). La mayoría identifica correctamente a la expresión $\vec{F} = m\vec{a}$ como una ley (70%); el resto la considera una ley y además una definición.

b. En el análisis de las respuestas vinculadas al establecimiento de diferencias entre definiciones y leyes se aprecian serias limitaciones, como muestra la Tabla IV.

TABLA IV. Diferencias entre definiciones y leyes.

Establecen diferencias		No establecen diferencias	Respuestas vagas No contesta
Correctas	Incorrectas		
38%	26%	13%	23%

De la totalidad de los profesores un 64% propone diferencias; sólo un 38% establecen diferencias correctas, fundamentalmente relacionadas con las funciones de ambas. Muy pocos son los que hacen alguna referencia a que las definiciones son convenciones y dan alguna idea del reconocimiento de aspectos tales como que las leyes tienen límites de validez. En las respuestas del resto se detectan incomprensiones en relación a la naturaleza de las leyes o de las definiciones (26%), predominando la idea de que “las leyes se cumplen siempre”. Unos pocos docentes no establecen diferencias y señalan incorrectamente que ambas explican (13%): “las definiciones explican cosas más puntuales, las leyes son más generales”.

- En cuanto a la utilidad de las definiciones, mayoritariamente se reconoce que éstas asignan significado a los conceptos (59%). Otros vinculan nuevamente a las definiciones con la explicación (13%): “las definiciones permiten resolver y explicar fenómenos físicos”- o afirman que las definiciones demuestran la validez de leyes (6%). El resto no responde (22%).

- Varios docentes relacionan correctamente la utilidad de las leyes con la predicción, descripción o explicación de fenómenos (47%). Otros o no responden (34%) o dan respuestas poco precisas. Afirman, por ejemplo, “las leyes permiten establecer una relación entre variables”; “son aplicables a diversas situaciones”, “sirven para estudiar o analizar un fenómeno” “son útiles para que mediante un cálculo matemático podamos conocer el comportamiento de un cuerpo” (19%). Está ausente toda alusión a que las leyes son un elemento fundamental para asignar significados a los conceptos.

c. Merecen un análisis particular las respuestas dadas a la actividad 6, en la que se pide que se explique con palabras el significado físico de diferentes expresiones matemáticas.

Nos detenemos en las respuestas dadas a la expresión $\vec{F} = m\vec{a}$, que alude a la segunda ley de Newton si se han definido, previamente y de manera independiente, los conceptos “masa”, “aceleración” y “fuerza”. Las respuestas se han organizado según las categorías que se muestran en la Tabla V.

TABLA V. Interpretación de expresiones matemáticas.

Significado físico	Relación entre variables		Traducción literal
	Correcta	Incorrecta	
23%	21%	22%	34%

Un análisis de las respuestas dadas da cuenta que:

- Sólo un 23% de los docentes hace alguna referencia al significado físico que encierra la expresión, aunque con limitaciones. Señalan, por ejemplo, que “*la fuerza neta que se ejerce sobre un cuerpo de masa m es la responsable de la aceleración del mismo*”, sin especificar condición alguna para “*el cuerpo*”. Sólo dos docentes formulan cuestiones físicas asociadas al carácter vectorial: “*la aceleración adquiere las características vectoriales de la fuerza neta ejercida sobre el cuerpo*”. En todos los casos no se alude a los límites de validez de la ley; todos hacen referencia a “*cuerpos*”, nadie lo asocia al modelo de punto material o de sólido rígido en traslación pura.

- Un porcentaje importante sólo plantea relaciones de proporcionalidad entre las variables en juego sin referir a significado físico alguno. Por ejemplo varios docentes (21%) plantean expresiones del tipo: “*la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa*”. Se establecen dependencias o relaciones incorrectas entre las variables (22%). Por ejemplo: “*la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo depende de la masa y de la aceleración*”; “*la fuerza es proporcional a la aceleración*”.

- El 34% de los docentes se limita a dar una traducción literal de la segunda ley de Newton: “*la fuerza es igual a masa por aceleración*”; “*la fuerza aplicada a un cuerpo es el resultado de la masa del mismo por la aceleración*”. La misma no hace referencia alguna a que F hace alusión a la fuerza neta que se ejerce sobre el sistema en estudio. Traducciones literales de este tipo predominan en la asignación de significado físico dado a la expresión: $W = \Delta E_C$.

Una mirada global a las respuestas dadas a este ítem da cuenta que en la mayoría de los casos predomina una lectura literal de los términos que designan las magnitudes físicas atribuyéndole, como máximo, algún tipo de contenido relacionado con la estructura matemática o formal que se le asocia. Se tiende a reducir definiciones y leyes a sus expresiones matemáticas. Se deja de lado características fundamentales en la construcción del significado de un concepto físico tales como las señaladas en este trabajo.

Como ya dijimos en matemática “es” y “son” equivalen a “igual a”, mientras no ocurre así en el campo de la física, donde el signo “igual” se interpreta con sentidos diferentes. Consideremos la expresión $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Al respecto, y entre otras cosas, ésta afirmación nos dice que el valor numérico de la fuerza coincide con el número que se obtiene como producto entre el valor numérico de la masa y el valor numérico de la aceleración, expresadas con ciertas unidades de medida y obtenidos con las técnicas e instrumentos que la mecánica newtoniana presupone. Esto no implica identificar conceptos, vale decir que el concepto “fuerza” no se identifica con el producto de los conceptos “masa” y “aceleración”, ya que no tiene sentido hablar de multiplicación de conceptos. No sumamos, restamos, multiplicamos o dividimos conceptos sino el valor numérico de los mismos. Por otro lado el símbolo “=” que aparece en las expresiones matemáticas de las que hace uso la física no expresa una igualdad lógica. Así cuando se afirma “ $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ”, no se pretende decir que “ \vec{F} ” y “ $m \cdot \vec{a}$ ” refieren a una misma entidad, no designan un mismo ítem; los tres ítems son ontológicamente diferentes (Lombardi, 2011).

Un análisis general de las respuestas de los profesores a las cuestiones planteadas parecería indicar que muchos no han adquirido, funcional y comprensivamente, un adecuado entendimiento sobre la estructura del conocimiento científico, que les permita advertir características fundamentales de los conceptos métricos y que clarifique la índole y la función de los diferentes enunciados que intervienen en él.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran limitaciones e incomprensiones de los docentes vinculadas con las variables de análisis. Los mismos dan cuenta de que existe una falta de reflexión sobre aspectos que consideramos fundamentales y que, creemos, deberían formar parte de los conocimientos básicos de un profesor de ciencias. Existe consenso acerca de la necesidad de que un profesor conozca la materia a enseñar. Desde nuestra perspectiva el conocimiento sobre aspectos vinculados con la naturaleza de la ciencia tales como los abordados en este trabajo, contribuye a una comprensión más profunda sobre la materia a enseñar y puede ayudar a que los profesores actúen más reflexivamente respecto a la labor

docente, sirviendo de marco referencial de diversos aspectos vinculados con la toma de decisiones en el aula (Cudmani y Salinas, 2004; Cudmani, 2003).

Este estudio fue realizado en el marco de instancias de formación docente. Las cuestiones planteadas fueron empleadas como herramienta didáctica -desde una perspectiva metacognitiva- como disparadoras para debatir aspectos de la naturaleza de la ciencia y su incidencia en el proceso de enseñanza y de aprendizaje con los mismos actores de las experiencias. Entre otras cosas los docentes rescataron el valor y la importancia que tienen espacios como éstos para reflexionar sobre aspectos epistemológicos que caracterizan a la ciencia que enseñan, que en general no suelen quedar claros cuando se aprenden las disciplinas. En ese sentido parece conveniente reforzar la formación epistemológica de los profesores de ciencia. Insistimos en la importancia de incorporar funcionalmente en las clases de física cuestiones vinculadas con la naturaleza epistemológicas de los conceptos, las leyes, las teorías y los modelos. Asimismo, en los espacios donde las temáticas giren alrededor de problemáticas epistemológicas, proponemos introducir contenidos específicos de la física a modo de ejemplificación.

Compartimos con Moreira (2008) el hecho de que los conceptos son importantes en el pensar, en el sentir y en el hacer, son fundamentales en la comprensión humana, en el desarrollo científico, en el desenvolvimiento cognitivo; consecuentemente los conceptos deben también ser claves en la enseñanza, en el aprendizaje y en el currículo. Sin embargo los conceptos son los grandes olvidados y subestimados en la educación científica y hay que revertir esta situación tanto en una educación para la ciudadanía como en la preparación de futuros científicos. Al respecto quisiéramos plantear la necesidad de profundizar la vigilancia epistemológica de los conceptos (Bachelard, 1948) en el aula. Muchas veces con el afán de hacerlos aseguibles se los presenta vinculándolos con ideas cotidianas, sin establecer las diferencias sustanciales entre el significado de las conceptualizaciones según el ámbito, así como sin hacer explícita la distinción entre hechos e ideas para interpretarlos. En el sentido opuesto otras veces se los plantea como obvios, como de “sentido común” o con un formalismo extremo a través de una definición cerrada y/o con “fórmulas”. Creemos que las expresiones matemáticas también pueden aportar a la comprensión de las conceptualizaciones si no se las vacía de significado físico. En ese sentido es posible en el tratamiento de las leyes analizadas ($\vec{F} = m\vec{a}$ y $W = \Delta E_C$, que relacionan al objeto de estudio con su entorno) vincular al segundo término de cada una de las igualdades con cambios en el estado del objeto en estudio –reflejados en cambios en la cantidad de movimiento o en la energía cinética, según el caso- y al primer término vincularlo con posibles maneras de provocar cambios en el estado del sistema. Claro que las características vectoriales y escalares que caracterizan a la fuerza y al trabajo de la fuerza, respectivamente, implicarán cambios diferentes: la fuerza neta está asociada al cambio de cualquiera de las características del vector velocidad y el trabajo de la fuerza resultante sólo al módulo de la misma.

Finalmente creemos importante avanzar profundizando las investigaciones en este campo, particularmente con estudios que centren la atención en cuestiones vinculadas con el lenguaje matemático del que hace uso la física.

REFERENCIAS

- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. y Lederman, N. (1998). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), pp. 417-436.
- Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *Int. J Science Education*, 22 (7), pp. 665-701.
- Acevedo Diaz, J. (2008). El estado actual de la naturaleza de las ciencias en la didáctica de las ciencias. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.*, pp. 134-169.
- Aduriz Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencia*. Tesis doctoral. Barcelona, España.
- Bachelard, G. (1948). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI editores.
- Blanché, R. (1972). *El método experimental y la filosofía de la física*. México: Fondo de Cult. Ec.
- Bunge, M. (1980). *La investigación científica*. Barcelona: Ediciones Ariel.

Celik, S. y Bayrakçeken, S. (2006). The effect of a 'Science, Technology and Society' course on prospective teachers' conceptions of the nature of science. *Research in Science & Technological Education*, 24 (2), pp. 255-273.

Cudmani, L. C. y Salinas, J. J. (1991). Modelo físico y realidad: importancia epistemológica de su adecuación cuantitativa. Implicancias para el aprendizaje. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8 (3), pp. 181-192.

Cudmani, L. (2003). ¿Qué puede aportar la epistemología a los diseños curriculares en Física? *Ciência & Educação*, 9 (1), pp. 83-91.

Cudmani, L. y Salinas, J. (2004). ¿Es importante la Epistemología de las Ciencias en la formación de investigadores y de profesor en Física? *Enseñanza de las Ciencias*. 22 (3), pp. 455-462.

Fernández, I; Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), pp. 477-488.

Fleisner, A. (2011). Hacia una teoría de la referencia para los términos de magnitudes físicas. *Revista latinoamericana de filosofía*. 37 (1), pp.5-33.

Gil, D. (1990). Por una formación permanente efectiva, en la compilación: *La formación de formadores en didáctica de las ciencias*. Valencia: Nau, Llibres.

Heisenberg, W. (1959). *Física y Filosofía*. Buenos Aires: Ediciones La Isla.

Hempel, C.G. (1988). *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*. Madrid: Alianza Editorial.

Irez, S. (2006). Are we prepared?: an assessment of preservice science teacher educators' beliefs about nature of science. *Science Education*, 90 (6), pp. 1113-1143.

Koulaidis, V & Ogborn, J (1989) Teachers' views of philosophy of science. *International Journal of Science Education*, 11 (2), pp. 173-184.

Koulaidis, V & Ogborn, J (1995) Science teachers' philosophical assumptions: how well understand them?. *International Journal of Science Education*, 17 (3), pp. 273-283.

Koyrè, A. (1978). *Galileo studies*. Highlands, New York: Humanities Press. Trad. cast.: *Estudios galileanos*. México: Siglo Veintiuno Editores, 1981.

Kuhn, T. (1990). Dubbing and Redubbing: The Vulnerability of Rigid Designation, en C.W. Savage (ed.), *Scientific Theories*, 14, pp. 298-318.

Lederman, N. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (4), pp. 331-359.

Lederman, N. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*. 36 (8) pp. 916-929.

Levitt, K. (2001). An analysis of elementary teachers beliefs regarding the teaching and learning of science. *Science education*, 86 (1), pp.1-23.

Lombardi, O y Pérez Ransanz, A. (2011). Lenguaje, ontología y relaciones interteóricas: en favor de un genuino pluralismo ontológico. *Arbor: Ciencia, pensamiento y cultura*, 747, pp. 101-109.

Marín, N.y Benarroch, A. (2009). Desarrollo, validación y evaluación de un cuestionario de opciones múltiples para identificar y caracterizar las visiones sobre la naturaleza de la ciencia de profesores en formación. *Enseñanza de las ciencias*, 27 (1), pp. 89-108.

Mosterín, J. (2000). *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.

- Moreira, M. (2008). *Conceptos en la educación científica: ignorados y subestimados*. Revista Querriculum, pp. 9-26.
- Nagel, E. (1981). *La estructura de la ciencia*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica.
- Peme-Aranega, C., de Longhi, A., Baquero, M., Mellado, V, Ruiz, C. Creencias explícitas e implícitas sobre la ciencia y su enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias, N° extra VII Congreso*.
- Ragout, S. y Cardenas, 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.
- Salinas, J. (2002). Lenguaje matemático y realidad en la enseñanza y en el aprendizaje de la Física. *VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de la Física*. Aguas de Lindoia, Brasil.
- Salinas, J. y Cudmani, L. (1993). Epistemología e Historia de las Física en la formación de los profesores de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 15 (3), pp.100-109.
- Salinas, J. J. (2007). Confusions between necessary and contingent propositions in Classical Physics learning. *Proceedings of ESERA 2007 (International Conference of the European Science Education Research Association)*. Malmo, Suecia, pp. 1-10.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana, I*. Madrid: Alianza Editorial.
- Wainmaier, C. (2003). Incomprensiones en el aprendizaje de la Mecánica Clásica Básica. *Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias (área Física)*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Wilson, J. Cowell, B. (1982) Methods of subject teaching: a challenge to current thinking. *Westminster Studies Education*, 5, pp. 37-41.

ANEXO

1. Muchas veces en la vida cotidiana empleamos términos que se utilizan en ciencias (por ejemplo: fuerza, presión, calor, energía, trabajo) ¿Tienen igual significado dichos términos en ciencias y en la vida cotidiana?
 - a. SI TU RESPUESTA HA SIDO AFIRMATIVA
 - a₁) Explica cuáles son las similitudes.
 - a₂) Brinda un ejemplo que aclare tu opinión.
 - a₃) ¿A qué crees que se debe el hecho de que en ciencias se atribuya a los conceptos el mismo significado que en la vida cotidiana?
 - b. SI TU RESPUESTA HA SIDO NEGATIVA
 - b₁) Explica cuáles son las diferencias.
 - b₂) Brinda un ejemplo que aclare tu opinión.
 - b₃) ¿A qué crees que se debe el hecho de que en ciencias se atribuya a los conceptos un significado diferente al de la vida cotidiana?
 - c. OTRA RESPUESTA: Si tienes una opinión que no corresponde a ninguna de las dos opciones planteadas anteriormente, explícala por favor tan claramente como puedas.

2. Con frecuencia se afirma que la definición es el procedimiento óptimo para asignar significados a los conceptos. ¿Crees que es suficiente una definición para comprender el significado de los conceptos científicos y usarlos con propiedad?
 - a. SI TU RESPUESTA ES AFIRMATIVA:

Elige un concepto científico y defínelo.
 - b. SI TU RESPUESTA ES NEGATIVA:

Indica qué procedimiento seguirías para comprender el significado de un concepto científico y usarlo con propiedad.

3. Un grupo de estudiantes está discutiendo sobre la naturaleza de conceptos tales como “gravedad”, “masa”, “energía”, “inercia”.
 - Juan sostiene que esos conceptos surgen a partir de la observación de los fenómenos.
 - Miguel sostiene que esos conceptos surgen a través de un interjuego entre la mente de los científicos y el comportamiento de la naturaleza.
 - a) Tu opinión al respecto es:

Más próxima a la opinión de Juan

Más próxima a la opinión de Miguel

Otra (explica):
 - b) Brinda argumentos que permitan entender las razones que apoyan tu elección.
 - c) Aclara tu opinión eligiendo un ejemplo y explicando cómo crees que puede haber surgido.

4. El mismo grupo de estudiantes continúa discutiendo sobre la naturaleza de conceptos tales como “gravedad”, “masa”, “energía”, “inercia”.
 - Alberto sostiene que esos conceptos son descubiertos por los científicos.
 - Luis sostiene que esos conceptos son inventados por los científicos.
 - a) Tu opinión al respecto es:

Más próxima a la opinión de Alberto

Más próxima a la opinión de Luis

Otra (explica):
 - b) Brinda argumentos que permitan entender las razones que apoyan tu elección.
 - c) Aclara tu opinión eligiendo un ejemplo y explicando por qué crees que es un “descubrimiento” o una “invención”, según la elección que hayas hecho en el punto a).

5. Andrés está preparando un examen de ciencias y ha elaborado una lista con algunas expresiones que vio, pero no sabe cuáles son definiciones y cuáles son leyes.
 - a) En la lista de expresiones elaboradas por Andrés, que se presentan a continuación, marca con una cruz la opción que coincida con tu opinión sobre cada una de ellas.

Expresión	Es una definición No es una ley	Es una ley No es una definición	Es una ley y también es una definición	No es ni ley ni definición Aclara qué es
$F = m.a$				

$x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$				
$E_m = E_c + E_p$				
$x = v \cdot t$				
$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$				
$W = \Delta E_c$				

- b) Establece diferencias entre definiciones y leyes en ciencias.
 c) Explica en un breve párrafo que utilidad (o función) tienen las definiciones en ciencias.
 d) Explica en un breve párrafo que utilidad (o función) tienen las leyes en ciencias.

6. Explica con palabras el significado físico de las siguientes expresiones:

- a) $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$
 b) $W = \Delta E_c$