

La construcción de significado de conceptos en los libros de texto de física: *momento angular*.

Tema: Didáctica de las Ciencias Naturales en la Educación Superior.

Modalidad: 2

Resumen

Se observa una gran dificultad en la comprensión del concepto de momento angular en los estudiantes universitarios de carreras científico tecnológicas. Son diversos los factores que podrían explicar la dificultad observada en la comprensión de dicho concepto. Una de estas dificultades puede estar asociada al modo en el que se presenta y construye el significado del concepto cuando es enseñado. Tanto en algunas clases como en los libros de texto dicha construcción parece ser deficiente y no atender a todas las características importantes de los conceptos de magnitudes físicas.

En el presente trabajo se analiza el modo en el que se presenta el concepto momento angular en los libros de física habitualmente utilizados en los cursos universitarios, con la intención de mostrar que no contribuye a una correcta construcción de su significado y, por lo tanto, a la construcción de pensamiento verbal en los estudiantes.

Palabras clave: Momento angular, Universidad, Pensamiento, Lenguaje.

Objetivo

Mostrar que el modo en el que se presenta el concepto momento angular en los libros de texto usados habitualmente en la enseñanza de la física a nivel universitario, no contribuye a una correcta construcción de su significado ni al desarrollo del pensamiento verbal de los estudiantes.

Marco teórico

Dada la gran dificultad observada en la comprensión del concepto de *momento angular* en los estudiantes universitarios de carreras científico tecnológicas, el siguiente trabajo se propone analizar uno de los múltiples factores que podrían explicarla: el modo en el que se construye el significado de dicho concepto en los libros de texto habitualmente utilizados en los cursos universitarios de Física I. Se pretende mostrar que dicho modo de presentación del concepto no contribuye a una correcta construcción de su significado.

El momento angular y su conservación se presentan por primera vez en los cursos de Física I (mecánica) y, generalmente, no han sido trabajados en cursos anteriores de nivel superior ni en la escuela media. Pero para cuando se introduce el concepto ya se ha trabajado en física con otras magnitudes que permiten describir el movimiento de un sistema físico y en las asignaturas del área de matemáticas con la noción de producto vectorial. Esto permite suponer que las dificultades encontradas en su comprensión no están asociadas con ideas previas erróneas ni a una dificultad intrínseca del concepto sino que parece estar relacionada con el modo en el que se construye el significado del concepto en los libros, que parece ser deficiente y no atender a todas las características importantes de los conceptos de magnitudes físicas.

Habitualmente no se trabaja el movimiento de rotación hasta la asignatura Física I.

Significado: vínculo entre lenguaje y pensamiento

El modo en que se suele evaluar el conocimiento que tienen los estudiantes es a través del discurso que pueden elaborar acerca de dicho conocimiento (exámenes parciales escritos en los que resuelven problemas y responden preguntas, preguntas orales en clase o informes de trabajos prácticos de laboratorio). Este tipo de evaluación presupone una relación entre pensamiento y lenguaje en el sentido planteado por Vygotsky (Vygotsky, 1992). De acuerdo con el autor, es a través del discurso acerca del significado de los términos (que designan conceptos) que puede analizarse el pensamiento verbal que poseen los estudiantes. Es entonces, a través de este tipo de evaluaciones que se observa en los estudiantes dificultades en la comprensión de algunos conceptos y, en particular, del concepto de momento angular.

Existen numerosas investigaciones en enseñanza de las ciencias que indican que hay diferencias entre las explicaciones de los estudiantes sobre los fenómenos físicos y los razonamientos científicos, siendo una situación frecuente que incluso cuando los alumnos son capaces de resolver problemas, esto no indica necesariamente una adecuada comprensión de los problemas (Viennot, 1996; Lawson y Mc Dermott, 1987; Hammer, 1994, Cudmani, 1995, Ragout y Cárdenas, 1999). Con el fin de lograr la comprensión adecuada de las situaciones problemáticas que los alumnos resuelven resulta necesario detenerse en la construcción del significado de cada concepto y del lenguaje necesario para manipularlo, dado que es en esa interrelación que un concepto puede ser incorporado a nuestro conocimiento.

Llegados a este punto resulta necesario explicitar qué se entiende por “sentido/significado” físico. Para algunos autores como Holton (Holton, 1989) existen ciertos conceptos “sin significado” físico y son aquellos que no tienen una definición operacional propia. Aunque, en el caso de este autor es él mismo quien muestra las enormes limitaciones de este modo de pensar sosteniendo que no puede invalidarse la teoría de Newton por sus definiciones “no operacionales” de tiempo y espacio o invalidar las teorías atómicas antiguas, tan valiosas para la ciencia por su definición de átomo, resulta evidente que es el modo de pensar de la mayoría de los autores de los libros de texto de física analizados. Pero existen al menos dos cuestiones problemáticas relacionadas con esta concepción que resultan perjudiciales para la construcción del significado de un concepto y, por lo tanto, para un correcto aprendizaje y manejo del mismo por parte de los estudiantes. La primera es que debe establecerse una distinción fundamental entre tipo de términos que designan conceptos de naturalezas muy distintas, como son los términos de magnitudes (tiempo, espacio) de los nombres propios (átomo). La segunda cuestión es que, aunque pensemos en la necesidad de una definición operacional (para las magnitudes físicas o conceptos métricos) esta parte de la definición no puede completar la asignación de sentido físico. Especialmente para aquellas magnitudes que pueden ser observadas y medidas de más de un modo.

Entenderemos entonces al significado de un concepto de magnitud física como un vector cuyos componentes son la definición ontológica del concepto, la representación formal o matemática, el contexto en el que el mismo resulta necesario y el modo en el que se lo puede medir y no simplemente su formalización. En tal sentido Cudmani et al., 1995, 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"*. Entonces, en cuanto al contexto de aprendizaje, cabe señalar que resulta necesario aportar todos los componentes del significado de cada término y complementos como los ejemplos de aplicación.

Metodología

Se analizó la presentación del concepto *momento angular* en 4 libros de texto utilizados habitualmente para el desarrollo de la unidad “Rotaciones” en los 4 cursos de Física I del Departamento de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) 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 más utilizados por los estudiantes de los cursos de Física I de la UNQ son: Física (volumen 1) de Tipler, Física (Tomo I) de Resnick y col. y Física para Ciencias e Ingeniería de Serway y col. Los docentes de dichos cursos suelen además recomendar el libro Mecánica de Creus y col. Estos fueron los libros analizados.

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.

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 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 momento angular (cuerpo puntual, sistema de partículas, etc.).

Se denomina estructura matemática al tipo de formalismo necesario para representar y manipular los valores de la magnitud momento angular. 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 momento angular.
- En el casillero ejemplos de aplicación se clasifica el tipo de ejemplos de aplicación utilizados por cada texto en la introducción del concepto.

Rastreo de la construcción del significado del concepto de *momento angular*.

Respecto de la definición ontológica:

Se observa en la mayoría de los textos analizados que no presentan una definición clara, es decir, que no hacen un recorte preciso del concepto al cual van a referirse. Se utilizan términos técnicos previamente presentados en el texto, pero muchas veces no refieren conceptos bien desarrollados previamente. Generalmente se confunde la definición física con la representación matemática, es decir, se utiliza como definición la ecuación a través de la cual se puede formalizar el concepto mezclándose así el plano de los conceptos y el plano de las estructuras formales. Por ejemplo, en el Tipler (Tipler, 1998: p. 242) se presenta del siguiente modo la

magnitud: “El momento angular \vec{L} se define como el producto de la magnitud del momento lineal \vec{p} por el radio \vec{r} .” Se confunde la definición ontológica, es decir la explicitación de la propiedad (magnitud) que se está definiendo y su sentido físico, con la representación formal de dicha magnitud. Además, el autor sostiene que una magnitud física ES un producto (no aclara qué tipo de producto) matemático.

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

Libro	Vinculación con ideas previas	Definición ontológica	Representación Estructura matemática	Relación con otras magnitudes	Estructura experimental	Ejemplos de aplicación
Tipler		NO. Define L matemáticamente sin aclarar el contenido físico de la magnitud. Introduce la definición a través de un ejemplo.	Cuerpos puntuales, sistemas de partículas, cuerpos rígidos. No está acompañada de una descripción ni una explicación clara. No se interpreta el signo =	Se relaciona a L con la cantidad de movimiento lineal p (a través de la definición) y con los torques (a través de la ley de torques)	No	Sólo ejercicios de cálculo.
Creus	Si, con teoremas de conservación.	No. Lo define matemáticamente y lo deriva de la definición de Torque.	Cuerpos puntuales, sistemas de partículas, cuerpos rígidos. Se describe adecuadamente el formalismo matemático pero no se interpreta el signo =.	Se relaciona a L con la cantidad de movimiento lineal p (a través de la definición) y con los torques (a través de la ley de torques)	No.	Si. Ejercicios de cálculo y problemas conceptuales.
Resnick		NO. Define L matemáticamente sin aclarar el contenido físico de la magnitud.	Cuerpos puntuales, sistemas de partículas, cuerpos rígidos. Se describe adecuadamente el formalismo matemático pero no se interpreta el signo =.	Se relaciona L con p y con los torques (a través de la ley de torques)	No	Sólo ejercicios de cálculo. Ejemplos conceptuales bien explicados.
Serway	Analogía con cantidad de movimiento lineal.	Define L matemáticamente sin aclarar el contenido físico de la magnitud.	Cuerpos puntuales, sistemas de partículas, cuerpos rígidos. Describe el producto vectorial. No interpreta el signo =.	Se relaciona a L con la cantidad de movimiento lineal p (a través de la definición) y con los torques (a través de la	No	Sólo ejercicios de cálculo asociados a movimientos circulares.

				ley torques)	de		
--	--	--	--	-----------------	----	--	--

Cabe señalar que ningún concepto que no sea puramente matemático puede estar definido como una operación matemática entre otros dos conceptos. El significado de un concepto físico no puede quedar enteramente delimitado a través de una estructura matemática, incluso cuando su definición ontológica pueda expresarse a través de una relación formal.

En el caso del Resnick (Resnick, 2010: p. 207) se introduce el concepto a través de una analogía “*En el movimiento rotacional, el análogo del momento lineal es el momento angular...*” sin explicarse el alcance del término “análogo”, es decir sin ninguna aclaración acerca de en qué aspecto es análogo un momento al otro.

Solamente el libro de Creus (Creus, 2004: pp. 187-188) presenta al momento angular como “*aquella magnitud asociada a parámetros que caracterizan el estado de movimiento de una partícula*” (luego generaliza para otro tipo de representaciones) después de definir el *momento* o *torque de una fuerza* y obtener la relación entre la sumatoria de los torques y la variación temporal del *momento angular*.

Respecto de la representación formal:

En la mayoría de los textos analizados no se presenta el *momento angular* de una partícula que no tenga un movimiento circular. Tampoco se presenta una ecuación acompañada de su significado físico ni se explicita el tipo de formalismo matemático utilizado. En todos los libros se señala que el momento angular se define como un producto vectorial, pero, al confundirse la representación matemática con el significado físico de la magnitud, no se explica la necesidad de representar dicho significado físico a través de un vector que posea las propiedades de aquellos que son obtenidos a través de un producto vectorial entre otros dos - que también representan dos magnitudes físicas-.

En el caso del texto de Creus, sí se dedica toda una sección dentro del capítulo a considerar las características matemáticas del momento angular y a explicar la necesidad de representarlo como un producto vectorial en función de las características que, de este modo, se pueden describir. Lo primero que se enuncia en el libro de Serway (Serway, 2004: pp. 311-312) para definir momento angular es que “*una importante consideración al definir la cantidad de movimiento angular es el proceso de multiplicar dos vectores mediante la operación llamada producto vectorial. El producto vectorial se introducirá al considerar la naturaleza vectorial del momento de torsión.*” A continuación se describe el producto vectorial y finalmente se introducen las nociones de *torque* y *momento angular*. Es claro que para los autores de este texto el aspecto formal o matemático es el más relevante en la construcción del significado.

Respecto del contexto:

En la mayoría de los textos analizados se presentan ecuaciones en las que está involucrado el *momento angular* sin explicar claramente la relación física contenida en ella. Tampoco se construyen argumentos claros para explicar los alcances de las leyes referidas al *momento angular* en la mayoría de los textos. Por ejemplo Resnick examina la relación entre \vec{L} y $\vec{\omega}$ aclarando que la igualdad $\vec{L} = I\vec{\omega}$ sólo es válida para cuerpos que tengan simetría alrededor del eje de rotación, pero obtiene la expresión $\sum \vec{\tau} = d\vec{L}/dt$ diciendo que se trata de una

“importante relación” y “análogo rotacional” de $\sum \vec{F} = d\vec{p}/dt$. El autor “lee” la primera de estas expresiones como “*la torca neta que opera sobre una partícula es igual a la tasa de cambio temporal de su momento angular*” sin aclarar el significado que tiene el signo igual en esta expresión para la física. Lo mismo ocurre en el Tipler “El momento del par externo resultante que actúa sobre un sistema es igual a la derivada respecto al tiempo del momento angular del sistema.”

Ninguno de los libros de texto analizados menciona ningún posible modo de medir el momento angular.

Respecto de los complementos de la definición:

Se observa también que no se favorece la transferencia del contenido disciplinar a situaciones problemáticas específicas y que la mayoría de los ejemplos planteados en la introducción del concepto, así como los problemas de aplicación propuestos, sólo involucran cálculos y no desarrollos conceptuales.

Serway propone como primeros ejemplos “*Estime la magnitud de la cantidad de movimiento angular de una bola de boliche que gira a 10 rev/s*” o explicaciones como “*La cantidad de movimiento angular se conserva mientras el patinador artístico ruso, E. Plushenko, participa durante los Campeonatos Mundiales de Patinaje Artístico 2004. Cuando sus brazos y piernas están cerca de su cuerpo, su momento de inercia es pequeño y su rapidez angular es grande. Para frenar al final de su giro, mueve brazos y piernas hacia afuera, lo que aumenta su momento de inercia*”. En ninguno de los dos casos se realizan los diagramas vectoriales que permitirían comprender mejor la situación ni justificar a través de leyes físicas la conservación de \vec{L} .

En el libro de Resnick (Resnick, 2010: pp. 315-317) se utilizan varios ejemplos como el giro de patinadores o los clavadistas de trampolín y se explican describiendo cuál es el sistema de análisis, mostrando que no hay torques netos externos (no siempre se analizan todas las fuerzas presentes y si hacen o no torque) y que, por tanto el momento angular se conserva. Algo similar ocurre en el libro de Tipler (Tipler, 1998: p. 294): se presenta los ejemplos de la patinadora y el clavadista sin diagramas vectoriales que permitan interpretar mejor la situación.

Conclusiones

Ninguna de las expresiones formales del momento angular y las leyes físicas que lo involucran presentadas en los libros de texto analizados está acompañada de una lectura en clave física. Se presenta al momento angular identificándolo únicamente con su representación matemática como si en vez de tratarse de una magnitud que describe el estado rotacional de un sistema fuera un producto vectorial. La física queda enmascarada por el lenguaje simbólico que la representa. Asimismo, en algunos libros es escaso el desarrollo del formalismo matemático que se usa para representar la magnitud momento angular, poco analizados en clave conceptual los ejemplos y meramente de cálculo las aplicaciones propuestas.

Si se entiende al significado de un concepto de magnitud física como un vector (cuyos componentes son la definición ontológica del concepto, la representación formal o matemática, el contexto en el que el mismo resulta necesario y el modo en el que se lo puede medir), resulta fundamental definir claramente todos estos componentes al enseñarlo. Contrariamente, no se está favoreciendo la construcción del significado, la adquisición de lenguaje adecuado ni el desarrollo de pensamiento teórico sobre el tema.

Referencias bibliográficas

- Creus, E.; Massa, M. y Cortes, A. (2004). MECÁNICA. UNR Editora, Rosario.
- 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.
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics, *Cognition and Instruction* 12, 151-183
- Holton, G. y S.G. Brush (1989). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Lawson, R. y Mc Dermott, L., (1987). Student understanding of work-energy and impulse-momentum theorems, *American Journal of Physics* 55, 811-817.
- 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
- Resnick, R, Halliday, D. y Krane, K. (2010). *Física*. Volumen 1, 8va ed. México DF: Grupo editorial Patria.
- Serway, R, Jewett, J. (2004), *Physics for Scientist and Engineers*. 6ta ed. Thompson Brooks/Cole.
- Tippler, P. (1998). *Física**. 3ra ed. Bilbao, EDITORIAL REVERTE.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique*. París: De Boeck Université.
- Vygotsky, L. (1992). *Pensamiento y lenguaje*. Madrid: Alianza.