

# El aprendizaje significativo de la mecánica considerada como una estructura compleja



**Mateo Barkovich**

*Academia de Física, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Prolongación San Isidro 51, Col. San Lorenzo Tezonco, Del. Iztapalapa, México, D. F.*

**E-mail:** mateobarkovich@gmail.com

(Recibido el 24 de Septiembre de 2013, aceptado el 7 de Febrero de 2014)

## Resumen

En este artículo vamos a discutir las implicaciones que tiene en la enseñanza/aprendizaje de la mecánica de Newton el hecho de considerarla como una estructura compleja.

**Palabras clave:** didáctica de la ciencia, mecánica de Newton, filosofía de la ciencia.

## Abstract

In this paper, we are going to discuss the implications in teaching and learning Newtonian Mechanics when we consider this subject as a complex structure.

**Keywords:** Physics education, Newtonian Mechanics, Philosophy of Science.

**PACS:** 01.70.\_w, 01.40.Ha, 01.40.Fk.

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un gran consenso en la necesidad de transmitir a los estudiantes una visión correcta de la metodología científica. Tal es así que el tema de las concepciones epistemológicas de los profesores y las visiones deformadas transmitidas a los estudiantes es una de las líneas prioritarias de investigación en la didáctica de las ciencias [1]. Entre estas visiones deformadas se encuentra la de *visión acumulativa o lineal* [2], en la cual los conocimientos científicos aparecen como fruto de un crecimiento lineal, ignorando las crisis y reconstrucciones profundas. Muy por el contrario, el cuerpo de conocimiento de la mecánica debe ser considerado como una estructura compleja [3,4], donde la producción de conocimiento dista mucho de ser lineal (sobre todo en la etapa de consolidación del paradigma, que es la que nos interesa desde el punto de vista de la didáctica). El objetivo de este artículo es el de resaltar algunas de las consecuencias que tiene el considerar el carácter estructural en la enseñanza de la mecánica. Muy a menudo estas consecuencias no son tomadas en cuenta. La razón de esto no estriba necesariamente en un desconocimiento de la metodología y naturaleza de la ciencia por parte de los docentes, sino más bien al hecho de que poseer concepciones válidas acerca de la naturaleza de la ciencia no implica necesariamente que el comportamiento docente sea coherente con esas concepciones [5]. Antes de abordar este tópico es oportuno comenzar por una breve descripción de lo que entendemos por aprendizaje significativo, ya que usaremos este concepto recurrentemente a lo largo del presente trabajo.

La teoría del aprendizaje significativo es la propuesta que hizo Ausubel [6] cuando se planteó el modelo de enseñanza basado en descubrimiento como alternativa al modelo conductista imperante. Si bien el término, aprendizaje significativo, viene de esta teoría, podemos decir que en la actualidad es compatible con otras teorías de corte constructivista y subyacentes a ellas [7].

Ausubel definió el aprendizaje significativo como el proceso a través del cual una nueva información se relaciona de una manera *no arbitraria* y *sustantiva* con la estructura cognitiva de la persona que aprende. En esta definición hemos resaltado las palabras *no arbitraria* y *sustantiva* ya que constituyen las características básicas del aprendizaje significativo. La *no arbitrariedad* quiere decir que el nuevo conocimiento se relaciona con ciertos conocimientos relevantes (no con cualquiera) de la estructura cognitiva del que aprende. Estos conocimientos previos específicos funcionan como “anclaje” para el nuevo material y se llaman subsumidores. Por su parte, *sustantividad* se refiere al hecho de que lo que se incorpora es el significado (o sustancia) del nuevo conocimiento; y no la frase usada para explicarlo.

La consecución del aprendizaje significativo requiere de dos condiciones:

- i) Que haya una disposición del que aprende para hacerlo de manera significativa.
- ii) Que el material sea potencialmente significativo. Esto supone que el material sea potencialmente relacionable con la estructura cognitiva del estudiante o, en otras palabras, que existan los subsumidores indispensables para interactuar con el mismo.

Es muy común, y de hecho lo haremos en las secciones siguientes, que se usemos la palabra *significado* a secas.

Este término puede tener diferentes connotaciones dependiendo del contexto en que se use. En particular, no debe confundirse el *significado psicológico* con el *significado potencial* de un material didáctico. El primero se refiere al aprendizaje significativo incorporado en el esquema cognitivo del sujeto que aprende en forma de nuevos subsumidores para el anclaje de una futura información. El segundo corresponde al significado que podrían adquirir los estudiantes cuando se involucran en el estudio del material. Si bien los libros no tienen significado (esto es algo de carácter cognitivo), podemos afirmar que tienen un significado potencial o implícito. Por otro lado el cuerpo de conocimiento de la mecánica también tiene un conjunto de significados potenciales. Estos son los que poseen los profesores/investigadores y que van más allá de los del libro de texto usado en el curso, ya que provienen de diversas fuentes bibliográficas, de conexiones con otras áreas del conocimiento, de su experiencia en el trabajo científico, etc. En este sentido es útil la distinción entre la teoría de los científicos y la teoría enseñada por el profesor y, en última instancia, la teoría aprendida por los estudiantes [8].

## **II. LA CIENCIA COMO UNA ESTRUCTURA COMPLEJA**

Chalmers [9] presenta dos argumentos para considerar a la ciencia como totalidades estructurales de algún tipo. Uno de ellos se basa en el estudio histórico del desarrollo de la mecánica a lo largo del tiempo. En este se puede apreciar con claridad que concepciones como las inductistas y falsacionistas son muy pocas sistemáticas para describir su evolución y progreso. El otro argumento es que los enunciados observacionales deben formularse en el marco de una teoría y en consecuencia los conceptos solamente adquieren un significado preciso cuando forman parte de una teoría coherentemente estructurada. En otras palabras, el significado (o, por lo menos parte del mismo) de los conceptos provienen del papel que desempeñan en la teoría. Así, Strike y Posner [10] afirman que capturar el significado de cualquier concepción particular es dependiente de cómo esta se relaciona con el todo.

El hecho de considerar a las teorías científicas como estructuras tiene implicaciones importantes en la enseñanza de la mecánica. Algunas de estas son:

i) Todo el campo de conocimiento de la mecánica tiene una coherencia interna basada en un complejo entramado entre sus elementos constitutivos (conceptos, enunciados, hipótesis, aproximaciones, etc.) de tal manera que debe ser vista como una entidad única.

Desde el punto de vista de la mente del profesor/investigados, la mecánica puede ser considerada como un único esquema mental (dinámico), complejo y robusto, que sirve como herramienta para abordar todos los problemas de su campo de acción. Los estudiantes, por otro lado, sometidos por ejemplo a una instrucción tradicional de transmisión de conocimientos, van construyendo esquemas mentales aislados de cada contenido que les permiten

resolver los problemas de ese contenido particular. En este sentido, el objetivo de la enseñanza es vincular y fusionar estos esquemas para consolidar esquemas cada vez más abarcativos.

ii) Cuando se entiende a la mecánica como una estructura compleja, donde sus partes están vinculadas entre sí y los conceptos toman un significado más preciso cuando se los analizan desde su función dentro de la teoría, es muy claro que no hay ni un principio ni un fin natural para iniciar y terminar la instrucción. En consecuencia, hay diferentes secuencias lógicas posibles que pueden plantearse para introducir los contenidos a los estudiantes. Pero, evidentemente, la diagramación de un curso no debe remitirse únicamente a establecer una secuencia lógica de los temas en un sentido lineal. Más bien debe introducirse sistemáticamente la recapitulación o revisión de los temas pasados, para que los conceptos vistos al principio puedan ser reinterpretados desde una perspectiva más amplia, desde un esquema mental más elaborado que incluya los contenidos posteriores y así poder facilitar la asimilación de los significado que surgen de su función dentro la teoría. En otras palabras, el nivel de significatividad de un tema/concepto aumenta cuando se han incorporados en la estructura mental del estudiante nuevos subsumidores provenientes de temas posteriores. Y, obviamente, en este proceso también aumenta el nivel de significatividad de los temas posteriores, mostrando el carácter cíclico que debe tener el mecanismo de enseñanza de la mecánica cuando es vista como una estructura.

Un ejemplo que ilustra este punto es el del concepto de aceleración, el cual se introduce tradicionalmente a los estudiantes por primera vez en el contexto de la cinemática. En particular, el signo de la aceleración en un movimiento acelerado en una dimensión está dado por el sentido del vector cambio de velocidad. Si este punto es retomado luego de estudiar la segunda ley de Newton, donde la aceleración se vincula con la fuerza aplicada a un objeto (que tiene un referente sensorial más fuerte que el del cambio de velocidad), ahora el signo de la aceleración puede vincularse también con el sentido del vector fuerza. Esto aporta nuevos significados al concepto de aceleración, mostrando su función dentro de la teoría.

Por esta razón hay que ser cuidadosos en la diagramación de un curso de corte constructivista, para no caer en el error de que hay que ver pocos temas pero de manera significativa, o, en otras palabras, antes de pasar a otro tema es importante que los estudiantes logren un aprendizaje significativo del actual. De acuerdo a lo visto antes, y reforzando lo afirmado por otros autores [11], el aprendizaje significativo es algo que lleva tiempo y dedicación. Incluso el hecho de aislar un tema para pretender enseñarlo significativamente realmente carece de sentido cuando se considera a la mecánica como una estructura compleja. Su separación en temas es más bien por una cuestión de orden y no debe confundirse con un carácter lineal, asociado a una construcción por acumulación de conocimiento. Hay conceptos que necesitan de numerosas conexiones, incluso con conceptos fuera del ámbito de la mecánica, para que puedan establecerse en la estructura

mental del aprendiz de manera significativa. Una enseñanza constructivista de la mecánica debe asignar un espacio (temporal) importante dentro de la clase para la vinculación de temas y el favorecimiento y fortalecimiento de la unificación de los esquemas mentales fragmentados por contenidos que puedan tener los estudiantes [12, 13, 14].

Aunque implícito en lo dicho antes, es importante aclarar que los estudiantes pueden avanzar exitosamente en el estudio de la mecánica aunque algunos conceptos no hayan sido comprendidos profundamente, por lo menos al principio. Un ejemplo histórico puede ilustrar este punto. Cuando Galileo estudió la caída libre de los objetos no tenía una definición de velocidad. Solo se maneja con la idea intuitiva de la misma y, adoptando un principio de simplicidad, postuló que la velocidad de un objeto en caída libre era proporcional al tiempo transcurrido. Esta hipótesis resultó correcta y se acopla coherentemente con las definiciones posteriores más precisas de velocidad. De esta manera, la falta de una definición de velocidad no le impidió a Galileo avanzar en sus investigaciones sobre el movimiento de los cuerpos. Es por eso que Chalmers [9] afirma que la historia de un concepto inicia con una idea vaga del mismo, seguido de su aclaración gradual a medida que la teoría en la que desempeña un papel toma forma más coherente y precisa. Lo mismo podemos esperar que ocurra con los estudiantes, pero no en el sentido de que vayan reproduciendo toda la historia de la mecánica en la clase (lo cual es imposible), sino más bien en el sentido de que su estructura cognitiva vaya descubriendo y asimilando nuevas conexiones entre la información recibida. En este contexto las definiciones precisas surgen como una necesidad del estudiante que avanza y no como una imposición del profesor. Citando textualmente a Hempel [15]: en la investigación científica, la formación de conceptos y la formación de teorías deben ir de la mano.

iii) En general, cuando se habla de aprendizaje significativo se lo hace en referencia a algún tema o contenido. Sin embargo, una de las características del carácter estructural de una teoría es que tiene propiedades que no poseen sus partes por separado. Las propiedades como universalidad, coherencia lógica y capacidad predictiva (en un sentido amplio, es decir, más allá de la capacidad predictiva de sus temas) son algunos ejemplos de propiedades que emergen al considerar a la mecánica como una estructura y que deberían ser significativamente incorporados en el esquema cognitivo de los estudiantes.

Volviendo al ejemplo de la aceleración, cuando se da al estudiante la oportunidad de vincular los significados provenientes de la cinemática con los de la dinámica, lo que se está enseñando, entre otras cosas, es la coherencia lógica entre los diferentes elementos de la mecánica.

### III. SIGNIFICADOS ADICIONALES

El cuerpo de conocimiento de la mecánica no es una teoría aislada y autocontenida. Además de poseer conexiones entre sus partes, posee numerosas conexiones con otras áreas. Por ejemplo, muchos de los significados de sus conceptos están

estrechamente vinculados con conceptos matemáticos. El dominio de las leyes de Newton requiere de un dominio previo del análisis vectorial. O el complejo concepto de velocidad instantánea requiere, además de conocimientos de cálculo diferencial, un enorme esfuerzo integrador por parte del estudiante. En este sentido tampoco debe confundirse el aprendizaje significativo con lo que habitualmente se (mal) entiende con “aprender la parte conceptual de la teoría” (menospreciando el manejo matemático). La matematización es una parte crucial de la mecánica, ya que está íntimamente vinculada con el carácter predictivo de la misma. Por ejemplo, luego de concluir (probablemente matemáticamente) que en un movimiento uniformemente acelerado la posición es una función cuadrática del tiempo, y conociendo las propiedades de las parábolas, es muy fácil entender el por qué en este tipo de movimiento solo puede haber un único retorno en el sentido del movimiento del objeto.

Esta serie de conexiones con otras disciplinas tiene como consecuencia que el nivel de significatividad de la mecánica sea potencialmente infinito. El límite de este nivel es personal y es fijado por cada individuo que se involucra en su estudio. Veamos a continuación un ejemplo para aclarar lo que pretendemos decir con esta afirmación.

Tomemos el caso del estudio del movimiento de un objeto en una dimensión. El nivel de significatividad de este tema aumenta cuando el alumno estudia movimientos generales en tres dimensiones. En este último surge necesidad de usar la notación vectorial, que da pie a una nueva reinterpretación del movimiento en una dimensión como caso límite de aquel. Es claro que el estudio de un solo tema aislado no favorecen los significados que surgen de la comparación de diferentes contextos problemáticos. El nivel de significatividad sigue aumentando cuando se estudia la dinámica, y, más aún, la relación entre cinemática y dinámica. Un caso olvidado en los libros de texto tradicionales [16, 17, 18], y cuya presentación después de introducir la segunda ley de Newton resulta muy lógica, es el del tratamiento general del movimiento de un objeto cuando se le aplica una única fuerza constante. Las características de este movimiento dependen de las condiciones iniciales (tiempo, posición y velocidad) del mismo, y, en particular, la trayectoria del objeto puede ser una recta o una parábola, dependiendo del valor del ángulo entre los vectores fuerza y velocidad inicial. El tiro parabólico, que tradicionalmente se enseña en cinemática, es un caso particular de este problema. El estudio de la gravitación, como el gran tema unificador de la mecánica celeste con la terrestre, más el análisis de diferentes aplicaciones (movimientos armónicos, choques, etc.) ayudan a consolidar no solo el tema original, sino también las propiedades de la ciencia mencionadas previamente en el inciso iii) del apartado anterior. Para que esto último ocurra es indispensable que la enseñanza sea acompañada por experiencias de laboratorio significativas.

Las conexiones planteadas en el párrafo anterior se encuentran dentro del ámbito de la mecánica. Pero, como dijimos antes, existen múltiples vínculos con otras áreas del conocimiento. El nivel de significatividad continúa en

aumento cuando el estudiante incorpora las técnicas matemáticas adecuadas y, aún más, cuando incorpora los formalismos Lagrange y Hamilton. Otra gama de significado, referente a la naturaleza y metodología de la ciencia, surgen en el esquema cognitivo del estudiante (a esta altura probablemente ya sea un estudiante avanzado) cuando se estudia historia de la ciencia y filosofía de la ciencia. Y, si continúa con mecánica estadística, electromagnetismo, relatividad, mecánica cuántica, etc., adquiere más significados, como por ejemplo el del límite de validez del, ahora modesto, tema inicial del movimiento de un objeto en una dimensión.

Este ejemplo pone en evidencia uno de los aspectos del fracaso de la enseñanza tradicional en la enseñanza de la ciencia. Al estar ésta completamente desvinculada del esquema cognitivo del estudiante se asume que con una exposición clara y lógicamente estructurada se pueden transmitir al estudiante todos los significados que el profesor pretende sin, en general, analizar el complejo camino que han recorrido esos significados para establecerse en su esquema cognitivo.

#### **IV. ¿QUE ES LO QUE HAY QUE ENSEÑAR?**

Quizás parezca muy obvia la cuestión, pero el análisis de su respuesta nos plantea una serie de puntos interesantes que pueden enriquecer la práctica docente. Si le preguntásemos a algún profesor/investigador universitario qué va a impartir un curso de mecánica en qué consiste esta materia, probablemente nos dará una lista estructurada y secuenciada de temas o contenidos. Pero, ¿es la mecánica el conjunto de temas que aparece en el índice de algún libro de texto? Evidentemente no, por alguna de las siguientes razones: a) Los libros tienen diferentes secuencias y los temas pueden variar, b) los temas deben ir acompañados de sus significados potenciales, que son los que le imprime el autor, y c) a su vez está el matiz que da el profesor, tanto incorporando temas adicionales como significados adicionales a través de una variada serie de actividades. Adicionalmente, podemos citar textualmente a Kuhn [3], refiriéndose a los libros de texto: *...es inevitable que el objetivo de tales libros sea propagandístico y pedagógico, de manera que la idea de ciencia que de ellos se desprende no tiene más probabilidades de describir adecuadamente la empresa que los ha producido de lo que tiene la imagen de la cultura nacional extraída de un folleto turístico....* Esta metáfora aclara lo que se está intentando explicar en este apartado y, a su vez, reafirma una importante diferencia entre la enseñanza tradicional y la enseñanza constructivista. La diferencia consiste en que mientras en la enseñanza tradicional se enseña mecánica (entendida como un conjunto de temas), en la enseñanza constructivista se enseña ciencia usando los temas de la mecánica. De aquí se desprende el gran interés de los investigadores en didáctica de las ciencias en el estudio de la metodología científica, la historia de la ciencia, los procesos de razonamiento crítico, etc.

Con todo, podemos afirmar que el cuerpo de conocimiento de la mecánica tiene las siguientes características:

i) No es definido. Hay situaciones que son difíciles de decir si pertenecen o no a la mecánica y, en general, carece de importancia un debate sobre tal asunto. Por ejemplo, el estudio detallado (no meramente descriptivos) de los experimentos de Galileo sobre la caída de los cuerpos son, en general, ignorados en los cursos universitarios de mecánicas y más bien hay que buscarlo en los textos de historia de la ciencia. Por esta razón podríamos concluir que no pertenecen a la mecánica, aunque la gran mayoría de los docentes estarían en contra de este argumento. En otras palabras, no existe algo así como “la biblia de la mecánica”, donde todo lo que está en ella es mecánica y todo lo que no está no es mecánica.

Retomando una parte de lo analizado en la sección anterior, cada profesor tiene una visión única y personal de lo que comprende la mecánica y lo que debe comprender un curso sobre ella. Aunque, evidentemente, muchos de los significados son compartidos por la comunidad científica.

ii) No es estático. Los libros, en particular los de difusión masiva [16, 17, 18], contienen diversos contenidos universalmente aceptados de lo que conocemos como mecánica más una serie de significados potenciales. Sin embargo, estos libros no han existido desde los inicios de la mecánica y, de hecho, algunos han ido cambiando con el paso del tiempo. Por ejemplo, hoy en día es muy normal que los textos incluyan problemas que deben resolverse con el ordenador o que hagan énfasis en las aplicaciones tecnológicas de la ciencia.

iii) Es infinito. Cuando hablamos de la mecánica nos referimos tanto a los contenidos en sí como a los significados que los acompañan. Por ello resulta muy difícil encontrar un límite definido para su campo de acción cuando se consideran los múltiples significados derivados de sus conexiones con otras áreas afines. La inclusión de los significados adicionales hace que su cuerpo de conocimiento sea infinito.

Por lo que acabamos de expresar resulta claro que para impartir un curso de mecánica se necesita una diagramación minuciosa que no solamente incluya una elección lógicamente secuenciada de temas, sino también los significados que se pretenden de ellos, como fortalecer estos significados a través de sus conexiones con otros temas y como impartir al estudiantes los significados más generales no vinculados a un tema específico, como por ejemplo aquellos relacionados con la epistemología de la ciencia. Como señala Osborne [19], el conocimiento y la comprensión de la metodología científica es un objetivo esencial de cualquier educación científica, ya que si no se corre el riesgo de producir estudiantes que no reconocen las concepciones científicas como racionales.

#### **V. CONCLUSIONES**

En este artículo revisamos algunos aspectos relacionados a la naturaleza de la ciencia y su impacto en la enseñanza de

la misma. Para tal fin usamos el concepto de aprendizaje significativo, introducido por Ausubel y usado ampliamente en el contexto de las metodologías constructivistas. Dos características que definen este término son la sustancialidad y la no arbitrariedad. Estas características son muy adecuadas para la entender algunos mecanismos que deben ser considerados en la enseñanza de mecánica, cuyo cuerpo de conocimiento debe considerarse una estructura compleja. Según Hempel [15], la mecánica es un conjunto de conceptos que conforman los nudos de una red compleja cuyos hilos son las leyes y principios y donde también, podemos agregar, hay hilos de conexión a conceptos de otras áreas. Así, el número de conexiones de un concepto (no arbitrariedad) favorece la sustancialidad del mismo. Y la sustancialidad del concepto ayuda a favorecer y fortalecer sus múltiples conexiones. Por esta razón la definición de aprendizaje significativo de Ausubel es muy acorde a la metodología científica y, ambas cosas combinadas, nos permite entender la dificultad muchas veces reportada acerca de lograr aprendizajes significativos en el estudio de la mecánica.

Finalmente, queremos resaltar que hemos considerado más adecuado hablar de nivel de significatividad de un concepto, más que de aprendizaje significativo del mismo. Esto se debe a que el significado aumenta indefinidamente a medida que se fortalecen las conexiones, lo cual puede lograrse de formas muy variadas, como el estudiar los temas posteriores del curso, a través de recapitulaciones (como presentar una clase o un examen final) e incluso durante el estudio de otros cursos. Lo que sí es definitivamente un gran error es pretender transmitir a los estudiantes todos los significados que tiene el profesor de la mecánica en un único curso.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Claudia López, Marco Noguez y Alexandra Carreño por sus valiosos comentarios y sugerencias.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Desautels, J., Larochelle, M., Gagnee, B. y Ruel, F., *La formation á l'enseignement des sciences: le virage épistémologique*, Didaskalia **1**, 49-67 (1993).  
[2] Gil, D., *Contribución de la Historia y la Filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de*

- enseñanza/aprendizaje como investigación*, Enseñanza de las Ciencias **11**, 197-212 (1993).  
[3] Kuhn, T., *The structure of scientific revolutions*, (University of Chicago Press, Chicago, 1970).  
[4] Lakatos, I., *Criticism and the growth of knowledge*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1974).  
[5] Hodson, D., *Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences, and children's understanding of science: some preliminary findings*, Interchange **24**, 41-52 (1993).  
[6] Ausubel, D., *The psychology of meaningful verbal learning*, (Grune and Stratton, New York, 1963).  
[7] Moreira, M., *Aprendizaje significativo: un concepto subyacente*, Actas del encuentro internacional sobre el aprendizaje significativo, Burgos, España, 19-44 (1997).  
[8] Paruelo, J., *Enseñanza de las ciencia y filosofía*, Enseñanza de las Ciencias **21**, 329-335 (2003).  
[9] Chalmers, A., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, (Siglo XXI editores, México, 2008).  
[10] Strike, K., Posner, G., *A conceptual change view of learning and understanding*. En Pines & West (Eds) *Cognitive Structures and Conceptual Change*, (Academic Press, Orlando, 1985).  
[11] Carretero, M., Limon, M., *Problemas actuales del constructivismo: de la teoría a la práctica*, Constructivismo, ecos del debate (Rodrigo, M y Annay I, compiladores), (Paidós, Barcelona, 1996).  
[12] Koch, A., *Training in metacognition and comprehension of physics text*, Science Education **85**, 758-768 (2001).  
[13] Hand, B., Prain, V., *Teachers implementing writing-to-learn strategies in junior secondary science: a case study*, Science Education **86**, 737-755 (2002).  
[14] Osborne, J., Simons, S., Collins, S., *Attitudes towards science: a review of the literature and its implications*, International Journal of Science Education **15**, 83-93 (2003).  
[15] Hempel, K., *La filosofía de la ciencia natural*, (Alianza, Madrid, 1973).  
[16] Sears, F., Zemansky, M., Young, H., Freedman, R., *Física Universitaria, Vol. 1*, (Pearson Educación, México, 2004).  
[17] Serway, R., *Física, Vol. 1*, (Thomson, México, 2005).  
[18] Tipler, P., *Física, Vol. 1*, (Editorial Reverté, Madrid, 2004).  
[19] Osborne, J., *Beyond Constructivism*, Science Education **80**, 53-82 (1996).