

Errores en los libros de texto de física: ¿cuáles son y por qué persisten tanto tiempo?

JOSIP SLISKO*

El Año Mundial de la Física (AMF) es una excelente oportunidad, no sólo para derrochar elogios sobre los impresionantes resultados de la física contemporánea en sus investigaciones en todas las áreas del mundo material (desde su estructura más íntima hasta su comportamiento global en el nivel del Universo observable) sino también, para reflexionar críticamente sobre la calidad de la enseñanza de la física, tal como se revela en los libros de texto en diferentes niveles educativos.

En la investigación educativa, el análisis de los libros de texto por lo común se ha centrado más en su *veracidad científica* que en su *adecuación cognitiva*. Partiendo de la visión constructivista del aprendizaje de la física, en este artículo se analiza el dominio de la veracidad científica en los libros de texto así como los aspectos principales de la mala adecuación cognitiva en la práctica docente que ellos mismos inducen.

Un problema muy común que se asocia al acumulación de fallas en el nivel cognitivo de la enseñanza es la forma en la que los estudiantes visualizan la estructura y la evolución de la física, así como la manera en la que la aprenden en el ámbito escolar. Por ello también se sugieren algunos cambios que elevarían de forma considerable la adecuación cognitiva de la enseñanza y, a su vez, la veracidad científica de la misma. Es importante señalar que, en muchas ocasiones, una inadecuada cognición revela fallas en la veracidad científica, lo cual queda de manifiesto cuando, al analizar las explicaciones que el maestro da y que los estudiantes

no entienden, encontramos que son incompletas, desde el punto de vista científico.

La veracidad científica y la adecuación cognitiva

La atención a la veracidad científica

Es muy común escuchar que el problema de los errores en los libros de texto no tiene solución, así como la justificación de que todos los autores de libros de texto cometen errores al escribirlos, negligencias de las que no son inmunes incluso los autores que han recibido el Premio Nóbel en Física (sobre un error de Feynman veáse Geller y Bagno, 1999). Por otro lado, las personas que se dedican a detectar y corregir errores en los libros de texto de los distintos niveles guardan una postura por completo opuesta (Lehrman, 1982; Iona, 1987; Bauman, 1992; Slisko, 1995; Slisko y Krokhin, 1995; Sawicki, 1996; Gearhart, 1996; Gauld, 1997; Blickensderfer, 1998). Según estos últimos, es de suma importancia que los libros de texto se escriban, por lo menos, sin errores respecto a la veracidad científica.

Para hablar de errores es necesario disponer del conocimiento científico correcto. Las preguntas inquietantes son precisas: ¿Qué es “el conocimiento correcto o estándar”? ¿quién lo define, promueve y protege?

* Físico, cuenta con una Maestría en Filosofía de la Ciencia (en el campo de la Física) por la Universidad de Zagreb, Croacia y un Doctorado en Ciencias Filosóficas por la Universidad de Skopje, Macedonia. Actualmente es profesor investigador de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Entre sus proyectos de investigación está “El Papel de los Libros de Texto en el Aprendizaje de la Física en Secundaria”, financiado por el CONACYT, México (clave 1759 – S), en el que se inspira este artículo.

Es fácil ponerse de acuerdo sobre el manejo matemático de fórmulas pero, en ocasiones, es realmente difícil hacerlo sobre su significado o, en términos generales, sobre su interpretación física. Un buen ejemplo de ello son las controversias relacionadas con la interpretación “correcta” de la mecánica cuántica (Rae, 1986; Selleri, 1986). Sin embargo, sería erróneo concluir que el problema de interpretación es solamente un síndrome de la física moderna. Aunque parece sorprendente, todavía existen diferencias de fondo en la interpretación de los conceptos de la llamada “física clásica”:

¿El calor es un proceso o una cantidad física?, ¿el campo eléctrico es algo material o un constructo matemático?, ¿la energía es algo material o inmaterial?

La mayoría de los físicos desprecia estas preguntas considerándolas como “bobadas filosóficas”. Con esto, no admiten la Filosofía de la Ciencia como una ciencia en sí. Por otro lado, la veracidad científica no fomenta por fuerza el aprendizaje de la ciencia escolar, ya que si planteamos la enseñanza como transmisión del “conocimiento correcto” del maestro hacia los alumnos, estos últimos, en un auténtico acto de auto-defensa, sólo practicarán la memorización de la información como forma de “aprendizaje”.

Atención a la adecuación cognitiva

La psicología cognitiva estudia el procesamiento humano de la información y proporciona conocimiento sobre los procesos mentales (la estructura de la memoria humana, la estructura de la memoria de largo plazo, esquemas mentales, importancia de diferentes representaciones, importancia del control del aprendizaje...). En su infancia y en su adolescencia, el ser humano pasa por diferentes niveles del desarrollo cognitivo que están determinados por operaciones mentales que las personas pueden ejercer. Para la enseñanza de la física, los dos niveles más importantes son los dos últimos: el *concreto* y el *formal*. En las universidades de Estados Unidos de América, sólo la tercera parte

de los “alumnos de los primeros semestres son “pensadores formales”, otra tercera parte todavía está conformada por “pensadores concretos” y la restante está en la transición (Aron y Karplus, 1976; Renner, 1976).

El aprendizaje de la física está condicionado más por las concepciones alternativas que sostienen los estudiantes sobre el mundo físico, que por el nivel del desarrollo cognitivo. La enseñanza tradicional no suele cambiar tales concepciones alternativas. Para enfrentar tal problema, algunos investigadores desarrollaron lo que se conoce como didáctica del cambio conceptual (Hewson, 1981; Hewson y Beeth, 1995), y que consiste en que los estudiantes sigan los tres puntos básicos: revelar una concepción alternativa, confrontarla con la realidad, cambiarla cuando notan que es falsa.

Aprender física no es escuchar a alguien hablar de física y poder repetir lo dicho. Aprender física es tener experiencias en “hacer física”, tanto con la mente como con las manos, aunque sean experiencias limitadas respecto al vasto currículo tradicional. Aprender un concepto o una ley es elaborar toda una red compleja de conocimientos, que va más allá de una definición o una fórmula.

Últimamente se ha observado que las creencias que los estudiantes sostienen acerca del aprendizaje de la ciencia escolar definen, de manera decisiva, su comportamiento cognitivo (¿cómo hablar, explicar, dibujar, resolver problemas o, en pocas palabras, cómo aprender en la escuela?).

El papel de terminología en el aprendizaje de la física

El lenguaje y el pensamiento científico

El vocabulario y la sintaxis del lenguaje de cada persona reflejan no sólo su educación, sino también, su modelo del mundo. Aún más, con respecto al aprendizaje, la precisión del lenguaje refleja la precisión del pensamiento. En realidad, la misma relación es bien cierta para el desarrollo y la estructuración de la ciencia misma. El caso paradigmático de la imposibilidad de avanzar en la ciencia sin elevar la precisión terminológica de la misma, es el programa que se propuso resolver Lavoisier en química:



La imposibilidad de separar la nomenclatura de la ciencia, y ésta de aquella, depende de que toda ciencia física se compone necesariamente de tres cosas: de la serie de los hechos que la constituyen; de las ideas que los representan; y de las palabras que las expresan. La palabra debe generar la idea, y ésta pintar el hecho, pues son tres impresiones de un mismo sello; y como las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar el lenguaje sin perfeccionar la ciencia, ni ésta sin el lenguaje, y que por muy ciertos que sean los hechos y exactas las ideas que originen, no transmitirán más que impresiones falsas si no tenemos los términos adecuados para expresarlos. (Lavoisier, 1999, p. I – II)

Según Sutton (1997), en el desarrollo del lenguaje científico y de las costumbres terminológicas es posible identificar dos fases: inicia como instrumento necesario para convencer a los demás científicos (*sistema interpretativo*); y termina como la descripción de los “hechos” (*sistema de etiquetación*).

Resulta paradójico que para que se lleve a cabo el desarrollo de la ciencia sea necesario convencer a los sabios mientras que, en la física escolar, a los estudiantes inexpertos se les ofrece el conocimiento en forma rígida y acabada, con el lenguaje como

sistema de etiquetación, con la única opción de repetirlo sin comprensión y sin convicción y, a menudo, sosteniendo ideas contrarias.

Una forma de organizar los términos científicos

La clasificación de los conceptos de física, según Karplus (1981), está dada en el Cuadro 1. La falta de atención a la existencia de estos niveles de la conceptualización en la física complica mucho el aprendizaje de la física escolar.

Estos segundo y tercer nivel normalmente no están incluidos en los programas de estudio de los cursos de física, aunque son de fundamental importancia para el aprendizaje de esta materia. Su exclusión hace que a los estudiantes se le dificulte más el comprender el significado de los conceptos del primer nivel y las relaciones que entre ellos existen. (Karplus, 1981).

Una posible mejora de esta clasificación sería discutir de forma sistemática los protoconceptos de la modelación científica (proceso, sistema e interacción). Todos términos técnicos que aparecen como descriptores de propiedades cuantificables de los

Cuadro 1

Tres niveles de los conceptos físicos	
Tercer Nivel (general)	Objeto, propiedad, sistema, punto de referencia, interacción, evidencia
Segundo Nivel (intermedio)	Partícula, movimiento, configuración, inercia, líquido, aislante, gravitación, electromagnetismo, elasticidad...
Primer Nivel (específico)	Fuerza, aceleración, energía, carga eléctrica, potencial, longitud de onda, temperatura, interferencia de ondas...



Cuadro 2

Algunos ejemplos del mal uso de terminología	
El mal uso de terminología	¿Por qué el uso es malo?
La masa se mueve.	Lo que se mueve es un cuerpo, la masa es su propiedad.
La aceleración causa el cambio de la velocidad.	La interacción, descrita por la fuerza, es la causa del cambio de la velocidad, la aceleración describe tal cambio.
La presión ejerce la fuerza.	Combiando la fuerza y la superficie se obtiene el concepto de la presión. Por eso, la presión no puede ejercer la fuerza.
La diferencia de potencial acelera la carga.	El campo eléctrico actúa sobre la partícula cargada, acelerándola. La diferencia del potencial es una propiedad del campo eléctrico y la carga eléctrica una propiedad de la partícula cargada.
Se emite (se absorbe) la energía electromagnética.	Lo que se emite (absorbe) es la radiación electromagnética. La energía electromagnética es solamente una de sus propiedades físicas.

sistemas, de los procesos y de las interacciones.

Si no se tiene cuidado sobre la verdadera naturaleza de un concepto, según su papel en la estructura conceptual de la física, será fácil cometer errores en el discurso escolar, ya sea del libro de texto o del propio docente. En el Cuadro 2 se presentan varios ejemplos del mal uso de la terminología.

Además, en la enseñanza de la física, el lenguaje concreto (fenomenológico) se tiene que distinguir con claridad del lenguaje abstracto (teórico). Es erróneo mezclar estos dos lenguajes en el aula y en los libros de texto. Hay que recordar siempre que para los estudiantes no es lo mismo percibir, describir, representar y entender las relaciones concretas y las relaciones abstractas:

Pedro es más alto que María.

(Se representa por una sola comparación porque se trata de una relación entre conceptos concretos.)

El oro es más denso que el aluminio.

(Por ser una relación entre conceptos abstractos, se debe representar por dos comparaciones, de los volúmenes cuando la masa es la misma, y de las masas cuando el volumen es el mismo).

Sugerencias sobre la terminología

Las abreviaturas propias de la jerga profesional se deben excluir del lenguaje de la enseñanza. Así, el lenguaje técnico no debe ser el inicio sino el fin del proceso de aprendizaje. Siempre es necesario hacer hincapié en el sentido negociado del lenguaje. Es importante que los estudiantes puedan hablar sobre la ciencia y sus propias experiencias con la ciencia.

Aquí es oportuno hacer un paréntesis para recordar que la concepción francesa sobre la cultura con respecto al tema de la comida incluye, como el núcleo central, la habilidad de hablar de manera informada sobre todos y cada uno de los aspectos gastronómicos.

La importancia de las explicaciones en el aprendizaje de la física

Los objetivos de la enseñanza de la física

La importancia de las explicaciones científicas para la visión científica del mundo no se puede exagerar.



Es un placer intelectual, comparable con el placer estético que uno siente al mirar una pintura de Van Gogh o al escuchar una obra musical de Mozart, poder entender las respuestas a preguntas tales como ¿por qué el cielo es azul?, ¿por qué las nubes son blancas?, ¿por qué vuela un avión?, ¿por qué algunas albercas parecen menos profundas de lo que en verdad son?, ¿por qué un núcleo es radiactivo y otro no?

Con respecto al asunto de explicar hay que distinguir dos tipos de conocimiento: el *declarativo*, relacionado con la pregunta: ¿Cuáles son las concepciones, los conceptos y las leyes?, y el *procedimental*, que permite responder la pregunta ¿Cómo aplicar las concepciones, los conceptos y las leyes para resolver problemas?

Los estudiantes tienen que aprender cómo moverse desde las concepciones, los conceptos y las leyes, hasta las descripciones (¿cómo ocurre un fenómeno?) y las explicaciones (¿por qué es un fenómeno?).

El problema grave de la enseñanza tradicional es que se pierde mucho tiempo en hablar sobre el conocimiento declarativo, creyendo que el conocimiento procedimental se aprende con facilidad al observar cómo se resuelven problemas numéricos. Hay que discutir, una y otra vez, las diferencias entre las descripciones y las explicaciones (el concepto de la causalidad, conceptos descriptivos y conceptos explicativos...).

Algunos ejemplos de las malas explicaciones

En lo que sigue se dan algunos ejemplos de las malas explicaciones:

Las seudoexplicaciones son aquellas en las que la parte que suponemos explicativa es, en realidad, otra descripción de lo que se debe explicar: El cuerpo sigue moviéndose debido a la inercia; o la Tierra atrae al cuerpo debido a la gravedad; o el cuerpo en la Luna tiene menor peso porque la fuerza gravitacional es menor.

Ejemplos de malas explicaciones, desde el punto de vista científico y cognitivo, son aquellos que se dan en muchos libros de texto sobre la “tensión superficial”, “mareas”, o “presión atmos-

férica”. Así, la tensión superficial se “explica” a partir de la falsa idea de que sobre las moléculas en la superficie del líquido actúa una fuerza neta hacia abajo. Los autores no se dan cuenta de que, si esto fuera cierto, las moléculas de la superficie deberían de moverse hacia el fondo del recipiente que contiene al líquido.

Las mareas se atribuyen por error sólo a la atracción gravitacional lunar sobre océanos terrestres, pero los autores olvidan que la fuerza de gravitación terrestre sobre los mismos océanos es mucho más grande. La presión atmosférica se atribuye al peso total de la misma, y al hacerlo no se toma en cuenta que el aire consiste de las moléculas en movimiento caótico de las cuales sólo una pequeñísima fracción está chocando con la superficie terrestre o los cuerpos inmersos.

Por otro lado, es increíble que todavía existan controversias sobre el funcionamiento del sifón (¿funciona o no en el vacío) o el vuelo de un avión (¿se basa en el Principio de Bernoulli o en la tercera ley de Newton?).

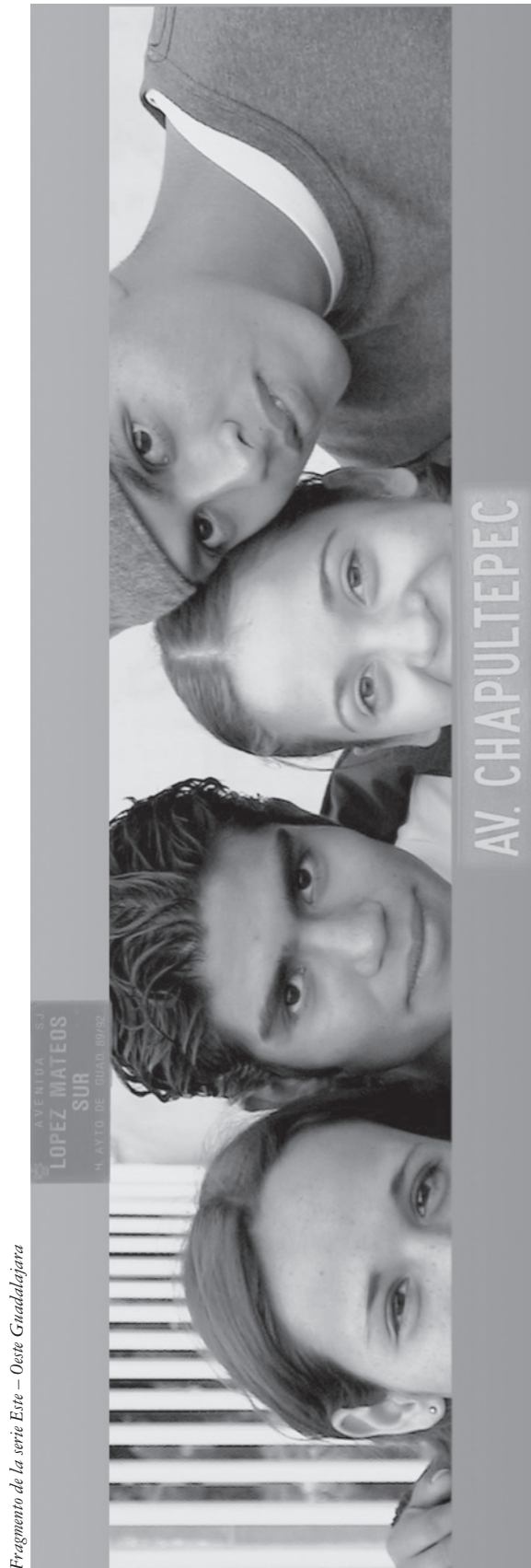
Sugerencias sobre las explicaciones

Antes de que el profesor explique el porqué de algún fenómeno, los estudiantes deben conocer bien el tema y, después, discutirlo de acuerdo con sus propias ideas. Para tal fin, es útil conocer y poner en marcha el círculo de aprendizaje ideado por Karplus (1977). El círculo consiste de tres fases: exploración, introducción del concepto clave y aplicación del concepto.

Siempre se deben verificar las interpretaciones que los estudiantes dan a la explicación científica. Lo que no entienden muchas veces se debe más a las fallas del autor del libro de texto o del profesor y menos a su deficiencia intelectual. Es buena idea premiar las mejoras que los estudiantes sugieran a las explicaciones (el papel de las autoexplicaciones en el aprendizaje).

Los recursos visuales en el aprendizaje de la física





Fragmento de la serie Este – Oeste Guadalajara

La teoría de la doble codificación

No se puede sobrevalorar la importancia de la información visual en el aprendizaje y en la cultura moderna. La mente procesa la información codificándola en dos códigos complementarios: verbal y visual (Mayer, 2001). El rendimiento cognitivo crece si la información verbal y la visual se apoyan entre sí (coherencia verbal–visual). En el caso contrario (poca coherencia o, lo que sobra en la ciencia escolar, la incoherencia parcial o total entre las dos), el efecto en el aprendizaje es negativo.

Los recursos visuales en la enseñanza

Las ilustraciones desempeñan diferentes funciones en el aprendizaje de la ciencia, a partir de diferentes recursos visuales (Wheeler y Hill, 1990). Los objetivos y las formas de los recursos visuales se presentan en el Cuadro 3.

La investigación detenida del aprendizaje y de la interpretación de los diagramas comunes por parte de los estudiantes revela que éstos, sin la intención de los autores, pueden contribuir a la dificultad y la confusión en el aula en que se enseña ciencia. En algunos casos, incluso, pueden causar graves concepciones falsas en el estudiante (Wheeler y Hill, 1990).

Además, el rol de la representación visual en la resolución de problemas es tremendo. Son pocos los problemas de física que no se pueden visualizar, pero son muchos los que no se pueden resolver sin una visualización adecuada. Hay que romper de manera continua la creencia de los alumnos sobre la poca importancia de las ilustraciones, obviamente consecuencia de la práctica docente anterior que consideraba las ilustraciones y los diagramas menos importantes que las palabras y mucho menos que las fórmulas.

Una ilustración errónea que persiste en los libros de texto

Es muy común encontrar libros de texto que con-



Cuadro 3

Los objetivos y las formas de los recursos visuales en la enseñanza	
Objetivo	Forma
Describir/Reportar	Pictórica/Fotográfica/Realista
Resumir/Generalizar	Semipictórica
Explicar/Modelar	Abstracta

tengan, dentro de sus recursos visuales, dibujos erróneos que conllevan a concepciones igualmente equívocas de los fenómenos físicos y, lo que es peor aún, estos errores han perdurado por muchos años. Un ejemplo claro de esto es la supuesta demostración de que la presión hidrostática de los líquidos crece según aumenta su profundidad; idea que ha persistido ¡casi un siglo!. Se trata de una supuesta demostración de que la presión hidrostática de los líquidos crece según aumenta su profundidad. Tal demostración inventada, presentada en la Figura 1, apareció en el año 1912 en un libro de texto alemán (Grimsehl, 1912, p. 239, fig. 261) y en el siguiente año en un libro de texto usado en México (Bruño, 1913, p. 43, Fig. 62). Tal coincidencia temporal de un error en dos alejados sistemas educativos hace sospechar que ambos autores habrían consultado el mismo libro de texto de física publicado anteriormente.

Aunque sería interesante realizar una investigación para corroborar o eliminar esta sospecha, lo importante ahora sería, no tanto averiguar la historia previa, como reportar la historia posterior de la vida de ese error en los libros de texto.

Antes de proceder, hay que decir que, para la configuración de los orificios en el recipiente en la Figura 1, el máximo alcance horizontal se obtiene para el chorro que corresponde al orificio a la mitad de la columna de líquido mientras que, los otros dos chorros deberían tener el mismo alcance. Las razones de este resultado se han discutido con detalle en otros artículos (Slisko y Corona, 1997; Slisko, 2000).

Aunque el error fue reseñado en varias revistas educativas (Grimvall, 1987; Wheeler y Hill, 1999; Gauld, 1997), todavía se puede encontrar en los

libros de texto de México (Braun y Gallardo, 1998, Figura 3.25, p. 56) y de España (Satoca Valero y Visquert, 1998, p. 37). Como alguien podría decir que los autores de los libros de texto de secundaria en México y en España no tienen acceso a las revistas en que aparecieron las reseñas de este error, hay que citar su aparición en un libro de texto de física universitaria en Estados Unidos (Knight, 2004: 447, Fig. 15.3). Es difícil creer que ninguno de los 117 revisores de ese libro de texto haya leído la revista *The Physics Teacher* en la que se menciona el error varias veces. En realidad, para detectar la inexactitud ni siquiera es necesario haber leído las revistas educativas, basta reproducir la situación y ver que la intuición visualizada en la Figura 1 no corresponde a lo que ocurre en realidad.

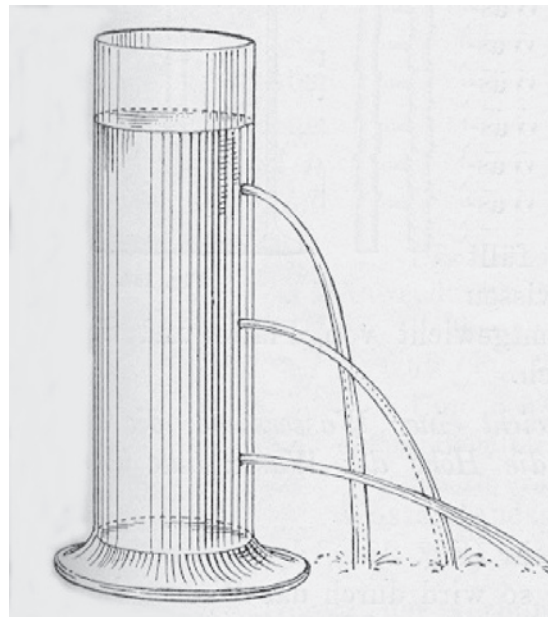


Figura 1. Las trayectorias erróneas de los chorros de agua que salen lateralmente de un recipiente.



Algunos ejemplos de la inadecuación cognitiva de las ilustraciones

Las incoherencias verbal–visual que aparecen en los libros de texto ocurren cuando la información verbal y la información visual se contradicen o, por lo menos, requieren muchas inferencias para relacionarse.

La incoherencia visual–visual es una inadecuación cognitiva caracterizada por el hecho de que a un mismo fenómeno se atribuyen diferentes representaciones visuales. Esto es común en los libros de texto en la visualización del sonido y de la luz. Por ejemplo, los autores representan con un dibujo la propagación del sonido a través de los círculos concéntricos y con otro mediante una senoidal. Otro error de esta índole sucede con la mezcla de los objetos concretos con la visualización abstracta. Por ejemplo, para ilustrar el efecto Doppler se presentan cuerpos concretos (ambulancia) y los círculos concéntricos, o para visualizar las fuerzas del movimiento de un cuerpo que es empujado en el dibujo se representan el cuerpo, la persona que lo empuja y las flechas (representando fuerzas) como si fueran otros actores actuantes en el fenómeno.

La representación abstracta de la máquina térmica es un ejemplo paradigmático para la tensión entre la veracidad científica y la adecuación cognitiva.

Todos estos ejemplos complican el aprendizaje de la física escolar porque en lugar de apoyar a los estudiantes con los recursos visuales, éstos deben luchar para descifrar el sentido de los dibujos y su relación, tanto con los fenómenos como con sus conceptualizaciones.

Sugerencias sobre el uso de la información visual

Se deben introducir, paso a paso, las convenciones visuales de la ciencia y negociar con los estudiantes su sentido y las reglas de su uso en la elaboración de descripciones y explicaciones. Es indispensable verificar las interpretaciones que dan los estudiantes a cada dibujo que represente relaciones abstractas.

Se sugiere fomentar y premiar “el pensamiento

visual”, y exigir su utilización de manera explícita en la resolución de problemas.

El papel de los modelos matemáticos y números en el aprendizaje de la física

La importancia de lo cuantitativo en la ciencia

La visión del conocimiento físico sostenida por Thomson, conocido como Lord Kelvin, recalca la fundamental importancia de la medición (Thomson, 1891):

Digo a menudo que cuando se puede medir aquello de lo que se habla y expresarlo en números, es cuando se conoce algo de ello; pero cuando no se puede medir, cuando no se puede expresar en números, el conocimiento es poco satisfactorio; puede ser el comienzo del conocimiento, pero apenas se ha avanzado, con estos pensamientos, para llegar al estado de Ciencia, cualquiera que sea la materia de que se trate...

Las matemáticas permiten un razonamiento coherente, basado en transformaciones de las diferentes leyes cuantitativas. Los modelos cuantitativos y las matemáticas permiten la comparación entre los resultados teóricos y experimentales.

Los números y los modelos matemáticos en el aprendizaje

La diferencia entre la predicción cualitativa y cuantitativa es muy importante para el desarrollo del conocimiento científico. Dos diferentes concepciones pueden dar la misma predicción cualitativa, pero diferentes predicciones cuantitativas. Se debe desarrollar el sentido para el orden de valor de las cantidades físicas (física del cuerpo, física del deporte...). Tal conocimiento es indispensable para poder evaluar el sentido del resultado obtenido. También es necesario discutir con frecuencia cómo se miden valores de importantes cantidades físicas en diferentes situaciones, en especial en los casos extremos. Nunca es suficiente subrayar que el número calculado es “correcto” sólo hasta el grado de acoplamiento que existe entre modelo



matemático usado y la realidad.

Algunos ejemplos de malos usos de los modelos y los números

Es común encontrar simplificaciones exageradas que se han planteado sólo para poder usar una fórmula simple. Por ejemplo, se plantea que un cuerpo de 1 kg cae en un recipiente que tiene un litro de agua, desde 10 m de altura y se pide calcular el aumento de la temperatura. Se olvida que en el mundo real la mayor parte del agua sería lanzada fuera del recipiente. Su energía cinética no se puede despreciar para suponer que toda esta energía se convierte en la energía interna del agua.

También, es muy común no discutir con detalle los límites de los modelos matemáticos relacionados con las leyes de la gravitación universal, de Coulomb o del gas ideal.

Para protegerse de los conflictos entre los datos “sacados de la manga” y los datos verificados del mundo real, los autores con frecuencia usan “la descontextualización de la situación” (hablando de un cuerpo, de un sistema, de una fuerza...). El resultado es que los estudiantes piensan que el aprender física es aprender a manejar las fórmulas a ciegas y que la física no tiene nada que ver con el mundo real.

La contextualización artificial, como remedio para el reproche sobre el alejamiento entre la física escolar y la realidad, puede tener también graves consecuencias, profundizando el abismo entre las dos culturas, la de los físicos y la del resto de la población.

Los lectores interesados en estos errores en los libros de texto pueden encontrar varios ejemplos adicionales y una discusión más extensa en otros artículos de Slisko, 2000b, 2003.

Sugerencias para el uso de los modelos matemáticos y números

Lo cualitativo debe discutirse antes de lo cuantitativo. Para evitar usar los números poco viables o imposibles, hay que verificar, mediante cálculos de las cantidades relacionadas, su apego a la realidad.

Siempre es benéfico para el aprendizaje discutir con detalle las simplificaciones que se hacen en la resolución de problemas y discutir qué tan sensata es la situación y qué tan sensata es la solución. Es recomendable fomentar y premiar el diseño de problemas por parte de los estudiantes (uno sabe lo que es capaz de crear).

Los errores en los libros de texto y la doble cultura universitaria

¿Por qué existen y persisten tantos errores en los libros de texto de física? Una respuesta fácil sería que se trata de simples descuidos personales de los autores, más frecuentes en aquellos con inadecuada preparación en la física. Sin embargo, como los errores existen en libros de texto de física, escritos, revisados y usados por personas con doctorado en física y considerable experiencia en la investigación, la respuesta se debe buscar en la mera cultura universitaria.

¿Qué es lo esencial en el trabajo académico? En muchas universidades, de manera explícita o implícita, la respuesta es la investigación. Si esto es así, no debe sorprender que la docencia no tenga en la percepción de los académicos el mismo encanto que la investigación. De tal manera, en el trabajo académico se forma una doble cultura, en que la investigación tiene mayor peso que la docencia y, en consecuencia, los parámetros que caracterizan la dedicación y los esfuerzos correspondientes pueden diferir de manera drástica, incluso en las mismas personas.

John Rigden ha hecho un excelente análisis inicial del tal fenómeno, al cual le dio un título provocativo: *Docencia e investigación: ¿amigos o enemigos?* (Rinden, 1998). Las diferencias fundamentales entre esos dos elementos básicos del trabajo académico se resumen en la Cuadro 4.

Para superar las diferencias y lograr un equilibrio sano entre estos dos pilares de la universidad, Rigden apunta hacia un cambio en las fórmulas con que se evalúa el trabajo académico. Propone que, en lugar de sumar los desempeños en diferentes ámbitos, se multipliquen, con el claro fin de que “cero o casi cero” en un aspecto afecte de manera drástica a todos los demás.



Las evidencias presentadas en este artículo, y otras que se dejaron fuera, sugieren que las conclusiones de Rigden sobre las diferencias entre la investigación y docencia se pueden extender aún más, si se analizan detalles que se refieren al lenguaje, las definiciones, las explicaciones, los números, la historia, la persistencia de los errores. Un resumen de esas extensiones se presenta en la Cuadro 5.

Desde esa perspectiva, el problema de los errores en los libros de texto se podrá resolver cuando en la cultura universitaria la docencia logre el mismo estatus que la investigación. En primer lugar, esto quiere decir que los productos de la docencia, como son los libros de texto y los artículos sobre los procesos educativos, deben tener el mismo control de calidad riguroso, tanto con respecto a la física como a la psicología cognitiva, que tienen los productos de la investigación.

Referencias

Arons, A.B. y Karplus, R. (1976). Implications of accumulating data on levels of intellectual development. *American Journal of Physics*, 44, 396.
 Bauman, R. P. (1972). Physics that textbook writers

usually get wrong. I. Work, *The Physics Teacher*, 30 (5) 264-269.
 Bauman, R. P. (1972). Physics that textbook writers usually get wrong. II. Heat and energy, *The Physics Teacher*, 30 (6) 353-356.
 Bauman, R. P. (1972). Physics that textbook writers usually get wrong. III. Forces and vectors. *The Physics Teacher*, 30 (7) 402-407.
 Blickensderfer, R. (1998). What's wrong with this question?. *The Physics Teacher* 36 (9), 524-525.
 Braun, E. y Gallardo, I. (1998). *Física para tercer grado* (2ª ed.). México, D. E.: Trillas.
 Bruño, G. M. (1913). *Elementos de física usual*. México: Librería de la Vda de C. Bouret.
 Gauld, C. (1997). It must be true – it's in the textbook!. *Australian Science Teachers' Journal*, 43 (2), 21-26.
 Gearhart, C. A. (1996). Specific heats and the equipartition law in introductory textbooks, *American Journal of Physics*, 64 (8), 995-1000.
 Geller, Z. y Bagno, E. (1994). Does Electrostatic Shielding Work Both Ways. *The Physics Teacher*, 32 (1), 20 – 22.
 Grimsehl, E. (1912). *Lehrbuch der Physik*. Leipzig und Berlin: Verlag von B. G. Teubner,
 Grimvall, G. (1987). Questionable Physics Tricks for Children. *The Physics Teacher*, 25 (6), 378 - 379.
 Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach

Cuadro 4

Las diferencias entre la investigación y la docencia según Rigden		
Categoría comparada	Investigación	Docencia
Relación con el conocimiento	Descubrimiento del nuevo conocimiento.	Diseminación del viejo conocimiento.
Dominio de la acción	Fronteras del conocimiento.	Ideas básicas del conocimiento.
Objetivo fundamental	Éxito personal.	Éxito de los estudiantes.
Supervisión experta	Muy presente.	Casi ausente.

Cuadro 5

Una posible extensión de las diferencias entre la investigación y la docencia		
Categoría comparada	Investigación	Docencia
Lenguaje sobre el nuevo conocimiento	Para convencer a los demás sobre la validez de una idea.	Para adoctrinar a los estudiantes.
Definición y el uso de los conceptos	Búsqueda de los estándares precisos y compartidos.	Postura indiferente frente a las diferencias.



Categoría comparada	Investigación	Docencia
Explicación	Debe ser precisa, completa y coherente.	Puede ser imprecisa, incompleta e incoherente
Números (valores de las cantidades físicas)	Corresponde a los experimentos realizados	Frecuentemente son inventados. Pueden ser imposibles en el mundo real.
Trabajos originales	Se leen con mucho cuidado.	No se leen. A veces, incluso, se falsifican.
La persistencia de los errores	Duran poco porque existen diferentes mecanismos idóneos para su eliminación.	Pueden durar mucho porque no existen mecanismos idóneos para su eliminación.

- to learning science. *European Journal of Science Education* 3, 383-396.
- Hewson, P. W. y Beeth, M.E. (1995). Enseñanza para un cambio conceptual: ejemplos de fuerza y movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 25-35.
- Iona, M. (1987). Why Johnny can't learn physics from textbooks I have known. *American Journal Phys.* 55 (4), 299-307.
- Karplus, R. (1977). Science Teaching and the Development of Reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 169-175.
- Karplus, R. (1981). Educational Aspects of the Structure of Physics, *American Journal of Physics*, 49 (3), 238-241.
- Knight, R. D. (2004). *Physics for Scientist and Engineers. A Strategic Approach*. San Francisco: Pearson / Addison Wesley.
- Lavoisier, A. L. (1990). *Tratado Elemental de Química*. Xochimilco: Universidad Autónoma Metropolitana. [Edición facsimilar de Tratado Elemental de Química; dispuesto en un orden nuevo según los descubrimientos modernos, escrito en francés por M. Lavoisier y traducido al Castellano para el uso del Real Seminario de Minería de México], México: por D. Mariano de Zúñiga y Ontiveros, Año de 1797.
- Lehrman, R. L. (1982). Confused physics: A tutorial critique, *The Physics Teacher* 20 (8), 519-523.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Rae, A. (1986). *Quantum Physics: Illusion or Reality?*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Renner, J. W. (1976). Significant physics content and intellectual development. *Physics Education* 11, 458.
- Rigden, J. (1998). Teaching and research: friends or foes? *American Journal of Physics*, 66 (3), 175 – 178.
- Satoca Valero, J. y Visquert, J. J. (1998). *Física y Química*. Opción Anual. ESO 4. Madrid: Grupo Anaya.
- Sawicki, M. (1996). What's wrong in the nine most popular texts, *The Physics Teacher*, 34 (3), 147-149.
- Selleri, F. (1986). *El debate de la teoría cuántica*. Madrid: Alianza.
- Slisko, J. (1995). The limitless world of textbook mistakes. *The Physics Teacher*, 33 (6), 318.
- Slisko, J. (2000a). Los mitos más populares de la física escolar I: Trayectorias erróneas de tres chorros de agua. *Alambique*. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 25, 96-102.
- Slisko, J. (2000b). Errores comunes en problemas numéricos de la física escolar. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 14, 87 – 98.
- Slisko, J. (2003). *Errores en los libros de texto de física: ¿Cómo convertir estos obstáculos de aprendizaje en oportunidades para el desarrollo del pensamiento crítico?*. En Flores y Aguirre (Coord.), *Educación en física. Incursiones en su investigación* (pp.79-120). México, D. F.: Plaza y Valdés.
- Slisko, J. y Krokhnin, A. (1995). Physics or reality? $F = k(1C)(1C)/(1 m)^2$. *The Physics Teacher*, 33 (4), 210-212.
- Slisko, J. y Cruz Corona, A. (1997). Chorros sorprendentes. *Correo del Maestro*, 16, 20 -24.
- Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, 8-32.
- Thomson, W. (1891). *Popular Lectures and Addresses*. I. (2ª ed.), (pp.80-81). Londres: Macmillan.
- Wheeler y Hill (1990). *Science Diagrams*. 57, 59-63.

