*Errores comunes en problemas numéricos de la física escolar**

Josip Slisko**

Summary

In educational journals conceptual and terminological errors are discussed more frequently than errors related to the numerical problems and exercises. In this article a possible taxonomy of such errors is proposed. The types of identified errors have to do with used numerical values, contradictory data, supposed physical situations, supposed mathematical models and involved physical concepts. For every type of error a few hints are given to help teacher detect in textbooks and to avoid in self-designed problems.

1. Introducción

De vez a cuando en las revistas educativas aparecen artículos sobre errores encontrados en los libros de texto de física escolar. La mayoría son sobre las fallas en la terminología usada para definir y hablar sobre los conceptos o en la visualización de fenómenos físicos (Iona 1987; Gauld 1997). Con menos frecuencia se publican trabajos sobre descuidos en los problemas numéricos (Slisko 1995; Slisko y Krokhin 1995; Blickensderfer 1998). Esto parece bastante raro porque la mayor parte del tiempo disponible para la

(*) Trabajo realizado en el proyecto "El Papel de los Libros de Texto en el Aprendizaje de Física en Secundaria" (clave 1759P-S9507) y durante la estancia sabática en la Universidad Complutense de Madrid, ambas actividades financiadas por el CONACyT (México).

(**) Facultad de Ciencias Físico Matemáticas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

enseñanza de la física escolar, y gran parte en los exámenes y controles escritos, se ocupa para "la resolución de problemas".

Últimamente, y debido a la realización del proyecto *"El Papel de los Libros de Texto en el Aprendizaje de la Física en Secundaria"*, tuve que revisar varios libros de texto de física escolar en México y en España, gracias a mi estancia sabática en la Universidad Complutense de Madrid. Encontré una diversidad sorprendente de errores en ejercicios, ejemplos resueltos y problemas. No solamente se usan números y situaciones poco razonables e, incluso, imposibles sino hay otros descuidos que no favorecen el aprendizaje de la física escolar.

Tengo la impresión que la mayoría de tales errores surgen a causa de un descuido personal inducido por la cultura de la comunidad académica universitaria en que existen grandes diferencias en ejercer las actividades de investigación y de enseñanza (Rigden 1998).

Una consecuencia de tal cultura, en el caso de la física escolar, es la manera como se "diseñan" los ejercicios y problemas numéricos. Sería difícil encontrar un solo profesor de física que nunca ha inventando en el aula un "problema" que le faltaba, pensando en una fórmula particular y generando *ad hoc* los números para insertarlos en ella, directamente o después de uno o dos despejes.

En este trabajo trato de establecer una taxonomía inicial de errores comunes en problemas numéricos de la física escolar.

Para cada tipo de error se confecciona una definición provisional, se hacen comentarios sobre uno o más ejemplos paradigmáticos tomados de los libros de texto recientemente publicados en España, se reflexiona sobre los daños que tal tipo de descuido puede causar en el aprendizaje de la física y se sugiere cómo evitar tal tipo de error en la selección o el diseño de los problemas.

Los errores se pueden dividir en cinco grandes grupos:

(1) Errores de valor numérico;
(2) Errores de datos numéricos contradictorios;
(3) Errores situacionales;
(4) Errores de modelación;
(5) Errores conceptuales.

Es claro que la división no es absoluta y que hay casos donde en una misma formulación ocurren dos o más diferentes tipos de errores. Por ejemplo, los datos numéricos que son contradictorios o las simplificaciones en la modelación revelan un error conceptual. También, los datos numéricos irreales implican que la situación planteada no puede ser real.

2. *Errores de valor numérico*

El error del valor numérico ocurre cuando el valor de una cantidad física, dado o calculado, es, en general, poco razonable o imposible (Ejemplos 1 - 3). Para una concreta situación planteada en el enunciado del problema, el valor poco razonable de una cantidad causa con frecuencia que los valores de otras cantidades relacionadas pueden ser poco razonables (Ejemplo 4).

Ejemplo 1: Objeto más denso que el osmio

"Calcula la densidad de un objeto cuya masa es 75 kg y que posee un volumen de 1,5 dm^3." (Cañas, del Bario, Romo y Lowy 1995, p. 80, Problema 1)

La densidad es 50 kg/dm^3 ó 50 000 kg/m^3, lo que es más que dos veces mayor que la densidad máxima, la del osmio, que, incluso, los mismos autores mencionan.

Ejemplo 2: No se puede correr a tal velocidad

"Calcula el trabajo que realizamos al empujar con una fuerza de 100 N durante 10 s, y en sentido de su desplazamiento, un objeto de 50 kg de masa. ¿Cuánta energía le comunicamos? Desprecia posibles rozamientos." (Candel, Satoca, Soley y Tent 1995, p. 151, Ejercicio 3)

Si la aceleración del cuerpo es 2 m/s^2, después de 10 s su velocidad sería de 20 m/s. ¿Podemos empujar la caja con tal velocidad sin la necesidad de correr a la misma velocidad? ¿Se puede despreciar la fricción? Para correr la necesitamos, pero la misma obstaculiza el movimiento del cuerpo.

Ejemplo 3: La rara aceleración de un tren del metro

"Un tren del metro arranca con una aceleración de 8 cm/s^2. Al cabo de 30 segundos, el conductor corta la corriente y el tren continúa moviéndose con velocidad constante.

a) ¿Cuál es esta velocidad?

b) ¿Qué espacio recorrió el tren en esos 30 segundos?

¿Qué tiempo transcurre hasta que el tren llega a otra estación distante de la primera 500 metros?" (Fidalgo y Fernández 1997, p. 138, Actividad 4)

La aceleración es demasiado pequeña. Uno podría pensar que se trate de un error de impresión o sea que la aceleración es de 8 m/s^2. Pero, en tal caso, la velocidad después de 30 s sería enorme: 240 m/s. Vale la pena agregar que, en la actividad anterior (Actividad 3, p. 138), los autores "asignan" a un tren una aceleración que es más de 30 veces mayor (2,5 m/s^2).

Ejemplo 4: La velocidad, la aceleración de frenado y el coeficiente de fricción demasiado grandes

"El conductor de un coche que circula por una avenida a 50 m/s observa que el disco de un semáforo se pone en ámbar. Sabiendo que en 5 segundos el semáforo estará en rojo y que el conductor se detiene junto en él, se pide:

a) La aceleración de frenada que aplicó,
b) La distancia entre el coche y el semáforo al iniciar la frenada..." (Crespo, Fernández, Gómez y Vallejo 1997, p. 19, Actividad de Autoevaluación 8)

La velocidad dada del coche de 50 m/s corresponde a 180 km/h, lo que es prohibido en cualquiera ciudad. La calculada aceleración de frenado es de - 10 m/s^2, lo que da para el coeficiente de fricción un valor mayor que 1. Normalmente, los coches reales lo tienen menor que 1.

La importancia de los números en la física escolar no se puede exagerar. Junto con las representaciones verbales (palabras), visuales (fotos, dibujos, diagramas) y simbólicas (fórmulas), la representación numérica (valores de cantidades físicas) forma la parte de la conexión entre el conocimiento físico y la realidad física, que muchas veces es oscura o se pierde por completo en la enseñanza.

Los estudiantes tienen que construir un sentido correcto sobre valores sensatos de las cantidades física, en general y en los casos particulares. Tal sentido les sirve como el criterio para controlar el proceso de la resolución de problema, especialmente en su fase final que es la verificación de la solución obtenida. Al no tener tal sentido, el daño cognitivo que sufren los estudiantes es enorme.

A ellos les da igual 1 newton o 100 000 newtons. Solamente son números que se meten en las fórmulas o que salen de las mismas y que no tienen relación alguna con la realidad. Una actividad útil para desarrollar el sentido para el orden de valor de cantidades físicas es el uso de las tablas con valores característicos de cada nueva cantidad.

Hay que tener un cuidado especial con los valores de la carga eléctrica en electrostática. Un coulombio es un valor increíblemente grande. Para almacenar tal carga en el aire, una esfera metálica debería tener un radio mayor que 55 m (Slisko y Krokhin 1995).

El profesor, al escoger o al diseñar un problema, tiene que formular la pregunta clave: ¿son razonables los valores numéricos dados o calculados?

3. Errores de datos numéricos contradictorios

El error de datos contradictorios ocurre cuando los valores de cantidades físicas proporcionados en el enunciado contradicen unos a otros. Tales casos se producen cuando los autores, diseñando ejercicios para una rama de física, olvidan las leyes de la otra. En los problemas en que se emplean conceptos físicos como trabajo y potencia no se puede meter el valor del tiempo sin pensar en sus implicaciones cinemáticas o dinámicas (Ejemplos 5 y 6).

Ejemplo 5: Datos contradictorios para el tiempo y para el trabajo

"Un camión de 20 toneladas arranca, y en un recorrido de 100 m alcanza la velocidad de 90 km/h.

a) ¿Qué trabajo realizo el motor?

b) ¿Cuál fue su potencia si ese recorrido lo efectuó en 10 segundos?" (Fidalgo y Fernández 1997, p. 47, Actividad 2)

Consideración cinemática, combinando la velocidad y lo recorrido, da para la aceleración el valor 3,125 m/s^2 y para el tiempo de recorrido el valor de 8 segundos. Este valor implícito para el tiempo está en la contradicción con el valor asignado al tiempo en el enunciado (recorrido efectuado en 10 segundos).

Ejemplo 6: Datos contradictorios para el trabajo y para el tiempo

"Un cuerpo de masa de 5 kg, inicialmente en reposo, está situado en un plano horizontal sin rozamiento y se le aplica una fuerza constante de 100 N durante 5 minutos. Con esa fuerza el cuerpo logra desplazarse 250 m. ¿Qué trabajo se realizó? ... ¿Influyó el tiempo en el valor del trabajo? ¿Por qué?" (Fidalgo y Fernández 1997, p. 31, Actividad 1).

El trabajo calculado "sin el tiempo" es fuerza por desplazamiento lo que da 2 500 J. Para calcular el trabajo "con el tiempo", se encuentra primero cinemáticamente la distancia recorrida: ¡900 000 m! Ahora el trabajo es ¡90 000 000 J! Es instructivo conocer la velocidad implícita del cuerpo: ¡6 000 m/s!

El tiempo implícito, según la aceleración de 2 m/s^2 y el camino recorrido de 255 m, es 15,8 s (en contradicción con el tiempo dado de 300 s).

La división de la física en diferentes ramas es una necesidad metodológica, porque no existe una intrínseca división de la realidad física. La realidad física es una y por eso hay que enfatizar la coherencia de diferentes ramas de la física y su unidad conceptual. Esto es posible lograr solamente con los problemas para cuya solución es necesario usar leyes de diferentes dominios de la física. Desafortunadamente, tales problemas casi no existen en la física escolar. Es más común encontrar los ejemplos, como los dos analizados, en que se descuida la coherencia entre diferentes visiones de la misma situación.

Si los estudiantes, por si mismos, descubren tales contradicciones sentirán un conflicto cognitivo sin poder resolverlo. Para evitar tal caso, el profesor, antes de presentarles un problema, debería preguntarse: ¿son coherentes los datos numéricos?

Pero, también, se pueden usar intencionalmente tales problemas para desarrollar con los estudiantes algunas estrategias que les permiten ver tales contradicciones como las fallas de los libros de texto y no como "trucos mágicos" que los alejan de la física (por ser "cortos" para descubrir en qué consiste el truco).

4. Errores situacionales

El error situacional ocurre cuando el planteamiento de la situación es erróneo, ya sea respecto a la conexión con las situaciones reales o respecto a sus implicaciones culturales.

El caso más frecuente es la descontextualización (Ejemplo 7), en que la formulación es tan abstracta que es casi imposible encontrar relación alguna con el mundo real. La falta de tal relación permite a los diseñadores de problemas la comodidad de "sacar los números de la manga", sin temer que su discrepancia con la realidad podría detectarse fácilmente.

Contextualización es la especificación explícita de la situación que, supuestamente, los estudiantes conocen o pueden imaginar. Pero, si la situación referente es imposible (Ejemplo 8) o poco sensata (Ejemplo 9), el efecto puede ser similar al de las situaciones descontextualizadas.

Ejemplo 7: La situación descontextualizada
"Un móvil con movimiento rectilíneo parte con velocidad inicial de 30 km/h. Al cabo de 6 horas alcanza una velocidad de 120 km/h." (Crespo, Fernández, Gómez y Vallejo 1997, p. 19, Actividad de Autoevaluación 7)
La situación es completamente descontextualizada, sin indicador alguno en qué consiste su relación con la realidad (¡se trata de "un móvil"!). Obviamente todo se ha confeccionado para aplicar de manera casi directa las sencillas fórmulas del movimiento rectilíneo y uniformemente acelerado. Pero, hay que notar que, para los móviles ordinarios, es difícil tener una aceleración constante de 0.4 mm/s^2 durante 6 horas. Para un coche de 1,000 kg, esto equivaldría tener durante todo el recorrido una fuerza neta de 0.4 N. Además, no existe una carretera rectilínea cuya longitud es de 450 km.

Ejemplo 8: La situación "contextualizada" pero imposible
"Un carnicero compra 100 N de carne en el Sol, 100 N en la Luna y 100 N en la Tierra. ¿Cuántos kilogramos ha comprado en total? (Observa que el peso no te indica la cantidad de carne, pero la masa sí.)" (España, López, Morales y Arribas 1995, p. 66)
Es una situación completamente artificial y, además, imposible. ¿Sería interesante saber, basándose en los experimentos hechos con los estudiantes, si este tipo de "contextualizaciones" aumenta el interés de los estudiantes para aprender la física?

Ejemplo 9: La situación "contextualizada" es posible pero poco sensata

"Se deja caer una piedra desde lo alto de un edificio cuya altura es 300 m. Calcula el tiempo que tarda en llegar al suelo y la velocidad con que lo hace. Considera despreciable el rozamiento con el aire." (Candel, Satoca, Soley y Tent 1995, p. 79, Ejercicio 3)

¿Existe en la vida real alguna situación en que es normal dejar caer una piedra de un edificio tan alto y, además, con una razón más fuerte que calcular el tiempo de caída? Sería mucho más natural dejar caer la piedra y medir el tiempo de caída para determinar la altura del edificio o la profundidad de un pozo.

Esta pregunta sobre tiempo de caída y similares en otras situaciones absurdas, solamente interesantes para los físicos, son poco sensatas para una persona común y corriente. Tal discrepancia puede profundizar aún más el abismo entre "dos culturas", una humanista y otra científica.

La física es ciencia de las situaciones reales y la enseñanza de la física tiene que promover tal visión a toda costa, especialmente cuando se trata de su aspecto cuantitativo. Si los estudiantes no ven la conexión entre los "conocimientos" y la realidad, aumenta la demanda cognitiva porque se enfrentan con las situaciones abstractas. Además, los objetivos de los problemas numéricos deben ser sensatos desde el punto de vista de sus intereses o tales del sentido común. Si no es así, se corre el riesgo de que los estudiantes digan: ¡Qué raros tíos son los físicos! No me gustaría ser uno de ellos.

El profesor tiene que preguntarse siempre: ¿Reconocerán los estudiantes la situación planteada como una situación real? ¿Qué tan interesante o sensato, desde el punto de vista de los estudiantes, es lo que se pide calcular?

5. Errores de modelación

Estos errores ocurren cuando en la modelación matemática de la situación se suponen, explícita o implícitamente, las simplificaciones que no corresponden a la realidad.

Estos errores abundan en los libros de texto porque pocas veces se respetan los límites de la aplicabilidad de los simples modelos matemáticos para cuerpos, interacciones y procesos físicos. Es casi una regla usar el modelo de "punto material", con el fin de aplicar la ley de gravitación universal, aunque las dimensiones de los objetos son comparables con la distancia entre ellos (Ejemplo 10). También, en el afán de aplicar una fórmula simple, no se toman en cuenta los aspectos de los fenómenos que los estudiantes experimentan en su vida cotidiana (Ejemplos 11 y 12).

Ejemplo 10: Un chico y una moto como puntos materiales

"Calcula la atracción gravitatoria entre un chico de 70 kg y una moto de 280 kg, a 1 metro de distancia". (Crespo, Fernández, Gómez y Vallejo 1997, p. 65, Actividad de Autoevaluación 6)

Es obvio que el tamaño tanto del chico como de la moto no son despreciables en comparación con 1 m. Tampoco la forma de ellos se podría considerar esférica. De tal manera no se cumplen las condiciones para aplicar la formula para la ley de la gravitación.

Por eso, en éste como en otros ejercicios similares que sirven para mostrar la pequeña intensidad de la fuerza gravitatoria para objetos ordinarios, sería mejor decir "estimar" que "calcular la fuerza gravitatoria" para dar una señal clara a los alumnos que el número obtenido no es "exacto".

Ejemplo 11: El agua que no se vuelve vapor

"Tenemos un recipiente aislado que contiene 500 g de agua a 25 °C. Calentamos un bloque de hierro de 200 g hasta que su temperatura es de 150 °C y lo introducimos en el agua. Suponiendo que no existen pérdidas energéticas (el sistema está aislado) y que el efecto sobre la temperatura del recipiente es despreciable, calcula la temperatura de la mezcla." (Satoca y Visquert 1998, p. 139, Problema resuelto)

En la resolución no se toma en cuenta la vaporización que ocurre inevitablemente al introducir en el agua el hierro con temperatura de 150 °C, el fenómeno que los estudiantes conocen. Se supone que toda la energía que pierde el hierro sirve solamente para calentar el agua. En tal caso el aumento de la temperatura es de 5 °C.

Pero, al restar la energía usada para convertir en vapor una pequeña parte del agua, el aumento de la temperatura, en lugar de 5 °C, sería de 3 °C. A la primera vista, la diferencia no parece grande pero de veras lo es. Se trata de una diferencia relativa de 40 %.

Ejemplos como éste pueden usarse para mostrar a los alumnos que diferentes visiones sobre lo que puede pasar, modeladas matemáticamente, los llevan a diferentes resultados. El resultado obtenido depende del modelo matemático usado. ¿Qué tanto se acerca un modelo matemático a la realidad? Este tanto viene determinado por la sensatez de las suposiciones que emitimos sobra la realidad.

Ejemplo 12: Calentando el agua con diez bolas que caen

"Se dejan caer 10 bolas de 100 g a un recipiente que contiene 1 litro de agua desde 10 m de altura.

Señalar las transformaciones energéticas que tienen lugar.
Calcular la temperatura final del agua si estaba inicialmente a 20 ºC.
c) ¿Cómo se modifica el resultado anterior si las bolas caen desde el doble de altura? ¿Y si pesan el doble?" (Martín, Ruiz, Fraile y Carrascosa 1998, p. 104, Actividad 18)
Todo el mundo, aunque no necesariamente en términos de "las transformaciones energéticas", podría describir lo que pasaría en esta situación. Cada bola, cayendo de una altura de 10 m, lograría agitar el agua considerablemente. Si se trata de un recipiente común y corriente, el agua saldría de él. Si se realizan 10 choques, podría ocurrir que se quedara poca agua en el recipiente.
Pero todo esto se desprecia, para calcular un efecto pequeño y, además, referente a una situación abstracta en que no ocurre lo que estudiantes esperan.

La modelación matemática es la parte importante de la física y los alumnos deben conocer su papel, poder y límites. Para lograr tal fin, en la enseñanza de la física lo cuantitativo y la modelación matemática siempre tienen que venir después del aprendizaje conceptual y cualitativo, para precisar tal aprendizaje y no para sustituirlo.

Si no se discuten razones para las simplificaciones en las modelaciones matemáticas y efectos que ellas causan en la "veracidad" de los resultados obtenidos, los estudiantes seguirán creyendo que las fórmulas simples reflejan fielmente la realidad y que los números calculados coincidirían con los números medidos si uno realizaría experimentalmente la situación en cuestión.

El profesor debe siempre preguntarse: ¿Es adecuado el modelo matemático? ¿Está claramente discutida su relación con la realidad?

6. Errores conceptuales

El error conceptual ocurre cuando la formulación del problema o los pasos en su "resolución" revelan que el autor sostiene ideas erróneas sobre las cantidades, leyes o los procesos físicos relacionadas con la situación.

Error conceptual es no conocer la relación entre la fricción estática y cinética (Ejemplo 13), ignorar que la presión total en el agua depende también de la presión atmosférica (Ejemplo 14) o no entender el significado de la segunda ley de la termodinámica (Ejemplo 15).

Ejemplo 13: La relación entre la fricción estática y cinética
"La fuerza de rozamiento máxima entre un objeto y la superficie horizontal en que se apoya es igual a 10 N. Describe el movimiento del objeto al aplicarle una fuerza horizontal

de 20 N, si tiene una masa de 5 kg." (Satoca y Visquert 1998, p. 81, problema 2)
Hablando estrictamente, la fuerza neta debe ser mayor que 10 N, porque la fuerza de fricción cinética es menor que la fuerza de la fricción estática (la fuerza de rozamiento máxima).

Ejemplo 14: Olvidando la presión atmosférica
"Un submarino se encuentra a 50 metros de profundidad en el mar. Sabiendo que la densidad del agua de mar es 1,1 g/cm^3, calcula:
La presión que está soportando el submarino.
b) La fuerza que habría que realizar para abrir una escotilla de 0,5 m^2 de superficie." (Cañas, del Bario, Romo y Lowy 1995, p. 81, Problema 20 resuelto)
Es muy común, en ejercicios similares, no tomar en cuenta la presión atmosférica. La presión total que "soporta" el submarino es igual a la suma de la presión atmosférica y la presión hidrostática. Por eso el resultado no es 539 000 Pa sino 640 325 Pa, casi 20 % más. En consecuencia, también la fuerza es más grande: 320 163 N.

Ejemplo 15: Violando la segunda ley de la termodinámica
"Una máquina realiza 1 000 J de trabajo por segundo a costa de su energía interna. ¿Cuánto habrá disminuido ésta en una hora de funcionamiento? (Cañas, del Bario, Romo y Lowy 1995, p. 158, Problema 26)
Esta formulación viola la segunda ley de termodinámica. No hay máquina térmica alguna que, operando en ciclos, puede transformar completamente parte de su energía interna en el trabajo mecánico.
Por eso es erróneo suponer que el trabajo ejecutado en una hora, igual a 3,6 MJ, es también igual a la perdida de la energía interna. Tal perdida debe ser mayor.

El aprendizaje conceptual es la parte medular del aprendizaje de la física escolar. Aprender un concepto o una ley implica, entre otras cosas, establecer relaciones con otros conceptos y con otras leyes, sabiendo su significado, su dominio de aplicación y sus límites. Los ejemplos de arriba, en lugar de contribuir al aprendizaje conceptual, solamente pueden causar confusiones.

Para evitar ejemplos similares, no queda otra que siempre cuestionarse: ¿Es la situación planteada coherente con la estructura conceptual que los estudiantes deben construir?

7. *Implicaciones para la docencia*

Los cinco tipos de errores discutidos aquí podrían acompañarse con unos más si el presente análisis se extiende hacia los recursos visuales (diagramas o dibujos) que se usan en la resolución de problemas en la física escolar. En tal panorama, es claro que los profesores que quieren mejorar su labor docente tienen que despertar su actitud crítica, dedicando un tiempo al análisis cuidadoso de los problemas y los ejercicios que vienen en los libros de texto o que ellos mismos diseñan.

Hay que recordar siempre que inventar situaciones físicas o números para valores de cantidades físicas es correr el riesgo de equivocarse. Si uno no conoce bien las características y restricciones físicas para una situación, determinadas por numerosos conceptos y leyes relacionados con ella, es mejor no usarla para "practicar" la física.

Los estudiantes deben apreciar que realidad física es complicada y que las fórmulas sencillas de la física escolar no la describen bien. La validez del número obtenido depende de la adecuación tanto del aprendizaje conceptual como de los modelos matemáticos usados para objetos, interacciones y procesos físicos.

Como muestran los ejemplos comentados, entender bien la relación entre los conceptos, las leyes, los números y la realidad no es algo sencillo. Si los autores de libros de texto a menudo fallan, con más probabilidad lo harán los estudiantes.

Por suerte, resolviendo "problemas abiertos" de física (Gil y Martínez-Torrgrosa 1987; Varela Nieto y Martínez Aznar 1997a; Varela Nieto y Martínez Aznar 1997b), los estudiantes pueden experimentar los procesos favorables para un auténtico aprendizaje de física escolar que son, además, similares a los que han formado la física como ciencia.

"Resolución de problemas como investigación" promueve la emisión de hipótesis, adquisición o estimación de datos numéricos y selección de modelos matemáticos para los objetos, interacciones y procesos pertinentes a la situación. Es seguro que los estudiantes, tratando de responder la pregunta "¿es posible calentar el agua dejando caer en ella las bolas de metal?", aprenderían mucha física más que la que se les queda después de "resolver" el ejercicio numérico anteriormente citado.

Incluso, si se usan los problemas aquí comentados (y otros similares que los profesores encontrarán seguramente) con el propósito de que los mismos estudiantes juzgan la viabilidad de los datos dados, ellos se convertían de algo dañino a algo útil para el aprendizaje de la física escolar.

Referencias bibliográficas

Blickensderfer, R. 1998: What's wrong with this question?, *The Physics Teacher,* 36 (9), 524-525.

Candel, A., Satoca, J., Soler, J. B. y Tent, J. J. 1995: Física y Química. Ciencias de la Naturaleza 4 (Grupo Anaya: Madrid).

Cañas, A., del Bario, J. I., Romo, N. y Lowy, E. 1995: Física y Química.

Ciencias de la Naturaleza. ESO 4 (Ediciones SM: Madrid).
Crespo Gazapo, E., Fernández Martínez, J. M., Gómez Gómez, S. y Vallejo Sactristán, M. 1997: Física y Química. 2º Ciclo de ESO. 4º Curso (Ediciones Akal: Madrid).
España Talón, J. A., López Fenoy, V., Morales Ortíz, J. V. y Arribas Puras, C. 1995: Física y Química. Ciencias de la Naturaleza. 4.º Secundaria (Edelvives: Madrid).
Fidalgo Sánchez, J. A. y Fernández Pérez, M. R. 1997: Física y Química 4. Ciencias de la Naturaleza. 2º Ciclo de ESO (Editorial Everest: Madrid).
Gauld, C. 1997: It must be true – it's in the textbook!, *Australian Science Teachers' Journal*, 43 (2), 21-26.
Gil, D. y Martínez-Torregrosa, J. 1987: La resolución de problemas en física (Vicens Vives – MEC: Madrid).
Iona, M. 1987: Why Johnny Can´t Learn Physics from Textbooks I Have Known, *American Journal of Physics*, 55 (4), 299-307.
Martín Martín, J., Ruiz Carrero, E., Fraile Sánchez, J. M. y Carrascosa Alís, J. 1998: Física y Química. Secundaria 2000. Curso 4º (Grupo Santillana de Ediciones: Madrid).
Rigden, J. 1998: Teaching and research: Friends of foes?, *American Journal of Physics,* 66 (3), 175-178.
Satoca Valero, J. y Visquert, J. J. 1998: Física y Química. Opción Anual. ESO 4 (Grupo Anaya: Madrid).
Slisko, J. 1995: The limitless world of textbook mistakes, *The Physics Teacher*, 33 (6), p. 318.
Slisko, J. y Krokhin, A. 1995: Physics or Reality? $F = k\ (1C)(1C)/(1\ m)^2$, *The Physics Teacher*, 33 (4), 210-212.
Varela Nieto, M. P. y Martínez Aznar, M. M. 1997a: Investigar y aprender resolviendo problemas abiertos de física, *Revista Española de Física*, 11 (2), 32-37.
Varela Nieto, M. P. y Martínez Aznar, M. M. 1997b: Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la física: La resolución de problemas como actividad de investigación, en *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), 173-188.