

¿CÓMO SE PRESENTAN LOS CONCEPTOS Y MODELOS EN LA ENSEÑANZA DE LA TERMOQUÍMICA? VISIONES DISTORSIONADAS DE LA CIENCIA EN LIBROS DE TEXTO*

FURIÓ¹, CRISTINA; SOLBES², JORDI y FURIÓ¹, CARLES

¹ Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.

² I.E.S. 'Rodrigo Botet' de Manisses, València.

Palabras clave: Visiones deformadas; Enseñanza; Termoquímica; Libros de texto.

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

El objetivo básico de este trabajo consiste en analizar en qué medida se presentan deficiencias en la enseñanza convencional de la termodinámica química que dificultan la comprensión de conceptos complejos como energía interna y entalpía así como la aplicación de la primera ley de la Termodinámica en procesos físicos y químicos. La importancia del tema de estudio es doble. Por una parte, una meta fundamental de la enseñanza de las ciencias es alfabetizar científicamente a los ciudadanos y ciudadanas en un mundo cada vez más tecnologizado que nos está llevando a una situación de emergencia planetaria. Es por ello importante una buena formación en el tema de la energía si queremos que la gente llegue a tomar decisiones bien fundamentadas. Un segundo motivo de interés del estudio es la poca investigación didáctica realizada en la Universidad. En efecto, en las dos últimas décadas ha habido muchos resultados de investigación en, por ejemplo, el tratamiento de las concepciones alternativas de los alumnos de secundaria sobre trabajo, calor y energía pero muy pocos en el nivel universitario (Barlot & Mastrot, 2000). Como el objeto de estudio es analizar las enseñanzas de la Termoquímica en los últimos cursos del Bachillerato científico y los primeros universitarios, se ha pensado que una primera aproximación al problema puede realizarse estudiando cómo se presentan los conceptos y modelos teóricos en los libros de texto que utiliza el profesorado de Química de aquellos cursos. Así pues, hemos enfocado el problema tratando de responder a la siguiente pregunta general:

¿En qué medida los textos de Química de Bachillerato y Universidad presentan una imagen pobre y deformada de la ciencia cuando introducen el o los capítulos de Termoquímica?

Esta pregunta se ha desdoblado en otras particulares relativas a las visiones deformadas de la ciencia que se pueden presentar al introducir la Termoquímica y, en particular, cuando exponen el concepto de entalpía. Estas preguntas se irán planteando como apartados en la sección destinada al diseño y resultados obtenidos de esta comunicación.

* Este trabajo es una contribución de los autores al comienzo de la Década de la Educación por el Desarrollo Sostenible.

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS

La investigación está mostrando que una adecuada formación docente requiere un conocimiento en profundidad de la materia que ha de enseñar y ello implica conocer, entre otros aspectos, la historia y epistemología de la disciplina (Solbes y Traver, 2003). Esto es, el profesorado ha de conocer los problemas y obstáculos históricos saliendo al paso de visiones deformadas sobre la naturaleza de la ciencia y su aprendizaje que se transmiten en la enseñanza (Fernández et al. 2002). A este respecto la didáctica de las ciencias ha puesto de relieve que, por ejemplo, el conocimiento tecnocientífico es hipotético, es decir, elabora modelos y conceptos teóricos como respuestas tentativas de explicación a problemas planteados por la tecnología, por la misma ciencia o por la sociedad que ha sido simplificados y precisados superando así visiones empiristas, ateóricas y apblemáticas sobre la construcción de estos conocimientos. Se reconoce que estos modelos científicos, y por tanto, sus leyes y conceptos no son dogmas a aplicar en cualquier circunstancia ya que tienen limitaciones y campos de validez saliendo al paso de visiones rígidas y algorítmicas de la ciencia. Se van construyendo y cambiando gradualmente llegando a producirse saltos cualitativos que, a veces, suponen crisis o revoluciones científicas (Thagard 1992) superándose aquellas visiones acríicas y acumulativas, de crecimiento lineal, de modelos y conceptos que tenemos los profesores respecto al progreso científico. También interesa resaltar que, aunque estos cuerpos teóricos se originan y evolucionan inicialmente separados, en la ciencia hay una búsqueda constante de síntesis globalizadoras en contra de visiones exclusivamente analíticas (Fernández et al 2002).

Nuestra hipótesis es que la mayor parte de estas visiones deformadas de la naturaleza de la ciencia que se han detectado en la literatura también se manifestarán cuando se enseña la termoquímica tanto en el nivel de bachillerato como en el universitario.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El diseño experimental elaborado consta de 15 ítems que constituyen una red de análisis de las deficiencias que se han supuesto en los capítulos de Termoquímica de libros de texto de Química de los niveles preuniversitario y universitario. Esta red se ha aplicado a una cantidad significativa de textos (30), la mitad de 2º de Bachillerato y COU (nivel preuniversitario) y la otra mitad de Química General de nivel universitario. Ahora bien, de acuerdo con el problema planteado, nada más se analizará la presentación del contenido relativo a cómo tienen lugar los cambios energéticos en los procesos físicos o químicos y cómo se explican con el primer principio de la termodinámica y los conceptos de energía interna y entalpía. El análisis del contenido de los textos fue realizado por separado por dos investigadores y, en el caso, de existir discrepancias en algún ítem se revisaba y si subsistían se eliminaba o intervenía un tercer investigador.

a) ¿Se introduce el tema de Termoquímica con una visión socialmente descontextualizada de la ciencia sin enfatizar la dimensión axiológica del aprendizaje?

En la tabla 1 se presentan los dos primeros ítems de la red que tienen por objeto analizar si el texto sale al paso de una visión descontextualizada, socialmente neutra, de la ciencia sin prestar atención a los aspectos axiológicos considerados. En particular el ítem 1 se refiere a la introducción de relaciones Ciencia,

Tabla 1.- Porcentaje de respuestas afirmativas a las cuestiones 1 y 2 de la red de análisis sobre aspectos axiológicos en los textos de Química (N=30)	
Contenido de la Pregunta	Porcentaje de Respuestas Afirmativas (%)
1. Hay a lo largo del tema, al menos, 3 ejemplos de relaciones CTSA que muestren el interés social de este estudio?	30,0
2. ¿Se presenta cuál o cuáles fueron los principales problemas históricos que motivaron el nacimiento de la Termoquímica o de la Termodinámica como ciencia moderna en el S. XIX?	16,7

Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) a lo largo del tema y el ítem 2 a la posible inclusión de alguna actividad, referencia o comentarios histórico relativos a cuáles fueron los principales problemas científicos y tecnológicos que se resolvieron al introducir los nuevos conceptos y la nueva ciencia.

Como puede observarse, solamente una tercera parte de los textos (30%) salen al paso de una visión socialmente descontextualizada de la ciencia (ítem 1) al proponer, al menos, 3 ejemplos de relaciones CTSA en el desarrollo del tema. El porcentaje es aún más bajo, 16,7%, respecto a los libros que tienen en cuenta un mínimo desarrollo histórico de los orígenes de la teoría termodinámica o de la termoquímica (ítem 2).

b) ¿La introducción de la Termoquímica en los libros tiene en cuenta la existencia de concepciones alternativas en prerequisites conceptuales (calor, trabajo y energía) detectadas por la investigación?

En la tabla 2 se presentan los ítems 3, 4 y 5 que tienen como objetivo analizar si los textos prestan atención a la existencia de ideas alternativas en conceptos básicos como calor, trabajo, y energía que la ciencia a la hora de introducir otros más complejos como energía interna y entalpía. Se ha valorado en contra de la hipótesis cuando el texto sale al paso de cada preconcepción con solo hacer una simple mención de advertencia al lector.

Ítem	Porcentaje
3. ¿Se diferencia explícitamente entre calor y temperatura?	26,7
4. ¿Se indica expresamente que la energía no es una sustancia que hay en los objetos o que no es ninguna propiedad de los objetos aislados?	3,3
5. ¿Se dice que el calor y el trabajo no son formas de energíasino formas de transferir energía entre sistemas?	43,3

Como se puede observar los resultados de las cuestiones 3 y 4 son bastante significativas, dado que sólo el 26,7% de los libros diferencian explícitamente entre calor y temperatura y solamente uno (3,3%) indica que la energía no es ninguna sustancia que se encuentre en los cuerpos. Estas dos concepciones alternativas, entre otras, hemos comprobado que aparecen en las respuestas de estudiantes universitarios. Por otra parte, menos de la mitad de los libros de texto analizados (43,3%) indican que tanto el calor como el trabajo no son variables de estado del sistema sino variables de proceso utilizadas para explicar las transferencias energéticas.

c) ¿Los textos ponen énfasis en aspectos metodológicos saliendo al paso de reduccionismos conceptuales y razonamientos de sentido común que pueden dificultar el aprendizaje?

La tabla 3 recoge los resultados obtenidos en cuatro ítems (6, 7, 8 y 9) cuyo objetivo general es ver en qué

Contenido de la Pregunta	Porcentaje de Respuestas Afirmativas (%)
6. ¿Se presenta qué es un sistema y que, en el caso más sencillo, casi siempre se considerará que van a interactuar dos sistemas o dos partes de un mismo sistema?	66,7
7. ¿Se introduce el concepto cualitativo de energía intema?	70,0
8. ¿Se presentan en el tema, al menos, 3 ejemplos de análisis energético de fenómeno o situación en los cuales se utiliza el concepto de energía interna?	40,0
9. ¿Se advierte al lector de posibles reduccionismos funcionales en las formas de razonar en los cuales se puede caer fácilmente?	3,3

medida los textos introducen los conceptos de sistema y energía interna (ítems 6 y 7, respectivamente) y consideran importante la familiarización de los estudiantes con aspectos procedimentales tales como la aplicación de estos conceptos en el análisis energético de situaciones problemáticas (ítem 8) o salir al paso de razonamientos de sentido común como la reducción funcional (ítem 9) que pueden dificultar la construcción de estos conocimientos termoquímicos.

En la cuestión 6 vemos que las dos terceras partes (66,7%) de los libros de texto dan afirmativo, lo que significa que se pone bastante énfasis en explicitar qué es un sistema, que puede interaccionar con otros sistemas, como por ejemplo el medio ambiente, o pueden hacerlo partes del mismo sistema. También es mayoritaria y muy parecida la cantidad de libros que introducen un concepto cualitativo de energía interna (70%) en el ítem 7. En cambio, el porcentaje de libros que presenta, al menos, tres ejemplos de análisis energético de situaciones donde han de aplicarse dichos conceptos (ítem 8), no llega a ser la mitad (40%). Así pues, son pocos los libros que presenten actividades para que los estudiantes se enfrenten a estos análisis cualitativos y de los que lo hacen solamente uno (3%) sale al paso de la existencia de posibles obstáculos epistemológicos en forma de pensamientos de sentido común como es, por ejemplo, la reducción funcional según la cual se llega a simplificar la dependencia de una función de varias variables reduciéndola a una única dependencia sin controlar las restantes.

d) ¿Se sale al paso de una visión rígida y algorítmica de la ciencia presentando ideas cualitativas sobre el concepto de entalpía antes de su definición operativa?

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en una serie de ítems (10, 11, 12, 13 y 14) cuyo objetivo general es ver cómo se introduce el concepto de entalpía en los libros de Química. Las deficiencias a analizar en la introducción habitual de conceptos científicos fueron las siguientes: i) si se presenta el concepto de forma arbitraria sin aludir a los hechos o problemas que pretende explicar (ítem 10); ii) si se introducen sus definiciones matemática (ítem 12) y operacional (ítem 13) acabadas, esto es, sin anticipar ideas cualitativas que puedan dar sentido físico o químico a aquellas definiciones cuantitativas (ítem 11). Estas deficiencias en las que se que prima la algoritmización ciega frente a la conceptualización cualitativa, se relacionan fácilmente con una visión rígida e infalible de la ciencia según la cual los conceptos son verdades universales y, por tanto, al definirse se obviará explícitamente su campo de validez (ítem 14).

Tabla 4.- Porcentaje de respuestas afirmativas (N=30) a los ítems 10, 11, 12, 13 y 14 de la red sobre deficiencias didácticas en la introducción del concepto de entalpía.	
Contenido de la Pregunta	Porcentaje de Respuestas Afirmativas (%)
10. ¿Se plantea previamente a la introducción teórica que en cualquier cambio físico o químico hay, en general, transferencias energéticas en forma de calor que permiten su clasificación en exotérmicos o endotérmicos?	53,3
11. ¿Se introduce alguna idea cualitativa del concepto de entalpía de un sistema?	26,7
12. ¿Se define la H como la suma $U+P.V$?	80,0
13. ¿Se introduce el significado de ΔH de un proceso como el calor desprendido o absorbido cuando ocurre a presión constante?	93,3
14. ¿Se tiene en cuenta el campo de validez de la definición operacional de ΔH en un cambio físico o químico?	30,0

Como vemos en estos resultados, en el ítem 10 se constata que sólo la mitad de los textos (53,3%) de los libros presenta la clasificación empírica de fenómenos en exotérmicos y endotérmicos, previamente a la presentación del concepto de entalpía que se introduce para explicarlos. En esta presentación de la entalpía, se observa que 4 de cada 5 textos (80%) da la definición de H ($H=U+P.V$) derivándola matemáticamente del primer principio (ítem 12) y, en cambio, el porcentaje se invierte cuando se ha de dar una significación cualitativa del concepto (ítem 11) ya que solamente lo hacen 1 de cada 4 libros (26,7%). O sea, la mayoría de

los textos derivan directamente la entalpía de la primera ley sin poner el énfasis en una conceptualización que dé sentido químico al concepto. Se podría pensar que este significado se extrae fácilmente cuando se da la definición operacional de la variación de entalpía de un proceso que, como se puede apreciar en el ítem 13, lo hace la casi totalidad de los libros (93,3%). Ahora bien, presentar ΔH del proceso diciendo que ‘es el calor de reacción a presión constante’ puede inducir en los lectores un significado erróneo de la función entalpía como calor o ‘contenido calorífico’ del sistema. Se debería explicitar que este calor será la medida de ΔH en determinadas condiciones no solamente cuando P y T son constantes, sino también se ha de advertir que para que se cumpla no han de producirse otros procesos de transferencia de energía distintos al calor como puede ser trabajo eléctrico, radiaciones luminosas, etc. Sin embargo, más de los 2/3 de los libros (70%) no especifican el campo de validez o las limitaciones del concepto (ítem 14).

e) ¿Se enfatiza los libros de texto la presentación simultánea de explicaciones macroscópicas y atomistas de los fenómenos termodinámicos?

Por último, en la tabla 5 se presenta el resultado encontrado en el ítem 15 que tiene por objeto ver en qué medida la enseñanza favorece que los estudiantes utilicen, a la vez, estrategias termodinámicas macroscópicas y microscópicas para explicar las interacciones entre sistemas y así mostrar la coherencia del cuerpo teórico de conocimientos. Hay cerca del 70% de los libros que no presentan ningún ejemplo de análisis microscópico donde se explique la relación entre la energía interna, el trabajo y el calor haciendo uso del primer principio de la Termodinámica.

Tabla 5.- Porcentaje de respuestas afirmativas a la cuestión de la red de análisis sobre interpretación microscópica de análisis energéticos.	
Contenido de la Pregunta	Porcentaje de Respuestas Afirmativas (%)
15. ¿Se presenta algún ejemplo de interpretación microscópica (mecánico-estadística) de un hecho o situación que habitualmente se interpreta macroscópicamente con el primer principio?	33,3

CONCLUSIONES

En definitiva, las conclusiones obtenidas podemos resumirlas indicando que la muestra de textos analizados presentan mayoritariamente deficiencias al no tener en cuenta aspectos axiológicos como la introducción de ejemplos de relaciones CTSA, no tener en cuenta la existencia de concepciones alternativas de los estudiantes en prerrequisitos conceptuales como calor y energía y de formas de razonamiento de sentido común como la reducción funcional al plantear análisis cualitativos de estos fenómenos, excesivo énfasis en el operativismo al introducir el concepto de entalpía y poco en presentar un significado cualitativo que le dé sentido físico o químico y, finalmente, son pocos los que utilizan simultáneamente los modelos atomista y termodinámico general a la hora de analizar situaciones problemáticas en este dominio. En un próximo trabajo se presentará una propuesta alternativa que intente superar estas deficiencias didácticas en la presentación de los conceptos y leyes de la Termoquímica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARLET, R. y MASTROT, G., 2000. L'algorithimisation-refuge, obstacle à la conceptualisation. L'exemple de la thermochimie en 1er cycle universitaire. *Didaskalia*, 17, 123-159.

FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J. CACHAPUZ, A. y PRAIA, J., 2002. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.

FURIÓ, C., CALATAYUD, M.L., BÁRCENAS, S. y PADILLA, O.M., 2000. Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules. *Science Education*, 84(5), 545-565.

- MARTÍNEZ, A. y PÉREZ, B.A., 1997. Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 287-300.
- THAGARD, P., 1992. *Conceptual revolutions*. New Jersey: Princeton University Press.
- VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D., 2003. *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University.