

Análisis crítico de la presentación del tema de Termoquímica en libros de texto de Bachillerato y Universidad.

Furió-Gómez, C.

Instituto Enseñanza Sec. de Puçol (Valencia)

Solbes Matarredona, J.

Instituto Enseñanza Sec. "Rodrigo Botet" de Manises (Valencia)

Furió-Más, C.

Dpto. Didáctica de la Ciencias Exper. Universitat de València

Resumen

Este trabajo estudia las visiones distorsionadas de la ciencia y la actividad científica que podemos encontrar en libros de Química cuando se introduce el capítulo de Termoquímica.

Palabras clave: visiones deformadas, termoquímica, libros de texto, entalpía.

Summary

This paper investigates the distorted views of science and scientific activity that can be found in Chemistry textbooks when the subject of Thermochemistry are introduced.

Keywords: distorted views, thermochemistry, textbooks, enthalpie.

(Fecha de recepción: septiembre, 2006, y de aceptación: octubre, 2006)

Introducción

Hay cierta tradición entre los profesores de Física y Química de Bachillerato y de Universidad en reconocer las grandes dificultades que tienen los estudiantes en el aprendizaje significativo de los conceptos y las leyes de la Termodinámica. Se acepta que hay un alto grado de incompreensión de estos conocimientos científicos, si bien los docentes suelen atribuir una menor dificultad a los conceptos que se introducen en la primera ley (energía interna y entalpía) que a los de la segunda ley (entropía y energía libre o exergía). El caso se agrava cuando hay que aplicar estos conceptos y leyes al dominio de las reacciones químicas, es decir, en la Termoquímica. Este reconocimiento de la existencia de problema en estas enseñanzas es positivo pero no lo es tanto el atribuir como únicas causas de estas dificultades de aprendizaje al carácter abstracto de los conceptos o a los propios estudiantes dejando de lado la responsabilidad de la enseñanza (Gabel, 1998).

Asumir esta responsabilidad es importante si tenemos en cuenta que la enseñanza de las ciencias tiene como objetivo básico formar futuros ciudadanos y ciudadanas que tengan en cuenta que vivimos en un mundo cada vez más necesitado de energía que nos está llevando a una situación de emergencia planetaria (Vilches y Gil, 2003). Es, pues, necesario que los estudiantes comprendan las transformaciones energéticas que se producen en las reacciones químicas ayudándoles a superar las

dificultades que se presentan en este aprendizaje.

Por otra parte, el interés didáctico de este estudio se justifica si, además, admitimos la existencia de un vacío de investigación en la interfase energía-procesos químicos. Es cierto que la literatura nos muestra numerosos trabajos de investigación sobre la existencia de concepciones alternativas de los estudiantes de Secundaria en los conceptos de calor, trabajo y energía (Duit 2004) y de trabajos donde se destacan las dificultades de aprendizaje debidas a formas de razonar de 'sentido común' que podrían ser la base de aquellas preconcepciones (Gil y Carrascosa 1985; Hashweh 1986), sin embargo los artículos concernientes a la didáctica de la Termodinámica química en los niveles de Bachillerato y Universidad son relativamente escasos (Tiberghien 1983; Barlet y Mastrot, 2000).

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación consistirá en analizar cómo se suelen presentar en la enseñanza convencional los contenidos conceptuales, epistemológicos y axiológicos relativos a la primera ley de la Termodinámica y a los conceptos de energía interna y entalpía en el contexto de la Termoquímica. Ley y conceptos con los que se pretenden explicar las transferencias energéticas en los procesos físicos y químicos. Nuestra hipótesis de partida presupone que la enseñanza convencional no favorecerá en estudiantes preuniversitarios y universitarios una comprensión de aquellas construcciones científicas que les permita expli-

car macroscópica y/o microscópicamente estas transferencias energéticas. La fundamentación de esta hipótesis, que se va a poner a prueba, se basa en que la enseñanza de la Termoquímica se lleva a cabo, en general, poniendo el énfasis exclusivamente en cierto operativismo conceptual con poco significado y olvidando las dimensiones epistemológica, metodológica y axiológica del aprendizaje que aconseja la investigación didáctica.

Ahora bien, el problema se ha acotado solamente al estudio del contenido relativo a cómo se presentan los conceptos de energía interna y entalpía para explicar los cambios energéticos en procesos físico-químicos. Se dejará de lado el estudio de las relaciones causales más propias del segundo principio de la termodinámica, aunque como sabemos, comprender bien la energía implica, entender no sólo su conservación sino también la degradación en los procesos (Duit 1981; Solbes y Tarín 1998 y 2004; Doménech 2001).

Así pues, las preguntas a plantearse en este estudio de la enseñanza de la termoquímica van a ser las siguientes:

¿Qué competencias conceptuales, epistemológicas y axiológicas queremos conseguir en los estudiantes cuando les enseñamos Termoquímica? Es decir, qué conocimientos, habilidades y actitudes ha de tener en cuenta la enseñanza si queremos que el estudiante logre una comprensión adecuada de lo que pasa con la energía en cualquier proceso físico o químico.

Y aceptadas estas competencias de los estudiantes como punto de partida para el análisis de las enseñanzas a proponer, la segunda cuestión será:

¿En qué medida los libros de textos de Química de 2º curso de Bachillerato y de Química general de primeros cursos universitarios presentan deficiencias o insuficiencias de tipo conceptual, epistemológico y axiológico que no ayudan precisamente a la comprensión de la Termoquímica? Es decir, se trata de ver en qué medida estas presentaciones favorecen en los estudiantes preuniversitarios y universitarios el aprendizaje de la primera ley de la Termodinámica y los conceptos de energía interna y de entalpía con los que pueden hacer interpretaciones macroscópicas y/o microscópicas correctas de las transferencias energéticas en procesos físico-químicos.

¿Qué significa tener una comprensión adecuada de las transferencias energéticas en los procesos físico-químicos?

Aunque no se sabe muy bien qué se entiende por comprensión de un dominio específico, o mejor aún, por *progresión del aprendizaje*, se acepta que es un proceso continuo y multidimensional que podemos caracterizar desde el punto de vista teórico analizando la evolución de las ideas y teorías a lo largo de la historia de la ciencia y comparándolas con la de las concepciones de los estudiantes que nos muestra la didáctica de las ciencias (Furió et al. 1987; Mortimer

1995; Domínguez y Furió 2001; Furió-Más y Domínguez-Sales 2006).

En nuestra opinión, una adecuada comprensión de lo que ocurre con la energía en los procesos físico-químicos requiere un cierto dominio de la primera ley de la Termodinámica (a la que se le atribuye un significado de conservación de la energía en cualquier cambio) y también estar familiarizado con el contexto químico al que se limita el estudio de la problemática que se propone. Éste es un ejemplo del establecimiento de relaciones entre dos cuerpos teóricos. Por una parte, tenemos la termodinámica general que intenta explicar con el concepto de energía los cambios macroscópicos en los sistemas y, por otra parte, la teoría atómica de la materia que interpreta estos cambios, desde el punto de vista microscópico, con las interacciones entre partículas (Atkins 1992). Esta relación entre dos teorías puede explicar, en parte, las grandes dificultades cognitivas que pueden tener los estudiantes preuniversitarios y universitarios en este dominio.

Así por ejemplo, tenemos por una parte dificultades en los estudiantes para diferenciar los conceptos de temperatura, calor o energía, cuando se confunde la energía interna de un sistema con el calor o la temperatura (Pintó 1991; Martínez y Pérez 1997) o cuando se le atribuye carácter sustancial al calor o a la misma energía (Furió-Gómez 2004; Harrison, Grayson y Treagust 1999). Por otra parte, en el contexto microscópico se utilizan términos como energía de enlace que para muchos alumnos sig-

nifica la energía liberada al romperse el enlace químico, error que puede encontrarse frecuentemente en la enseñanza anterior de química o biología cuando se habla de 'enlaces ricos en energía' (Cohen y Ben-Zvi 1992).

A continuación y a título de hipótesis, se presenta el conjunto de competencias (en sentido amplio de conocimientos, habilidades y actitudes) que habría de adquirir un estudiante para poder resolver con algún éxito una situación problemática de interés y así salir al paso de las posibles dificultades de aprendizaje que puedan surgir al realizar un análisis energético adecuado de los cambios físicos o químicos. El logro de estas competencias se fundamentan en el modelo de aprendizaje como investigación orientada que puede ser aplicado en la introducción de conceptos científicos, en la resolución de problemas o en el diseño y desarrollo de trabajos prácticos (Furió, Valdés y González de la Barrera 2006). La aplicación concreta de este modelo a la enseñanza de la Termoquímica habría de lograr las competencias axiológicas (cuadro 1), conceptuales y epistemológicas en los niveles macroscópico (cuadro 2) y microscópico (cuadro 3) de representación que se indican a continuación.

Una vez concluida la fase de iniciación en el tratamiento de la situación problemática convendrá plantear el análisis cualitativo de la misma cuya discusión llevará a poner en tensión nuevas competencias conceptuales y epistemológicas al tratar de modelizarla macroscópicamente introduciendo los

Cuadro 1. Competencias a conseguir en la dimensión axiológica del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Termodinámica Química.

1. Saber valorar qué interés puede tener solucionar la situación problemática propuesta.

Esto es, se ha de ver el interés y la importancia que tiene para las personas e, incluso, para la humanidad la situación problemática propuesta. Un posible ejemplo de situación problemática abierta a proponer puede ser: ¿Cómo y por qué ahorrar energía en el transporte? Esta puede ser un motivo para iniciar el debate sobre problemas sociales importantes como, por ejemplo: tener en cuenta el agotamiento de los combustibles fósiles anunciado para el siglo XXI, ver la necesidad de tomar decisiones fundamentadas sobre el ahorro de energía en el planeta (informe de Club de Roma 1992, reunión de Kioto 1999, cumbre de Johannesburgo 2001, recordando el llamamiento ‘Década de la Educación para un futuro sostenible 2005-2014’ de la ONU a los educadores de todos los niveles y países), favorecer la búsqueda de combustibles limpios que no contaminen (energías renovables, investigaciones sobre la obtención de energía de fusión nuclear similar a la que nos llega del Sol, etc.) (Vilches y Gil 2003).

2. Tener una concepción preliminar de lo que se pretende resolver al plantear una situación problemática abierta dentro del tema ‘Energía y cambios químicos’.

Se supone que los estudiantes de Química ya han visto estequiometría en las reacciones químicas y han resuelto el problema de cuánto producto/s se formará/n si se transforma una cantidad determinada de reaccionantes mediante la introducción del concepto de cantidad de sustancia (n) que mide macroscópicamente el número de partículas que interaccionan en estos cambios. Ahora interesa fijar la atención en las manifestaciones energéticas que acompañan a cualquier cambio físico o químico. Es decir, cuando las sustancias reaccionan, al mismo tiempo que se forman nuevas sustancias, se producen cambios energéticos que se pueden observar mediante el desprendimiento-absorción de calor y/o la realización de trabajo que pueden hacer los sistemas que interaccionan. Cómo explicar estos efectos termoquímicos será el objetivo básico de esta unidad didáctica. Como ejemplos de situaciones problemáticas abiertas que se pueden proponer en una enseñanza de orientación constructivista se pueden escoger varias que pueden ir desde el interés personal hasta cuestiones de tipo social. A título de ejemplos se pueden presentar: ¿Cómo saber si nuestra alimentación es saludable? ¿Qué necesidades energéticas hay en el mundo y cuáles se satisfacen quemando combustibles fósiles? ¿Cuáles son las fuentes o recursos de tipo energético que utilizamos para producir las transformaciones –movernos, calentarnos, iluminarnos, oír música, etc.- que nos interesa y qué previsiones hay respecto a su agotamiento?, etc.

conceptos de energía interna y entalpía y su relación con las variables de proceso

(calor y trabajo) para poder explicar las transferencias energéticas (cuadro 2).

Cuadro 2. Competencias conceptuales y epistemológicas a lograr en la modelización macroscópica de la situación problemática propuesta.

3. Saber analizar cualitativamente las situaciones problemáticas exo o endotérmicas donde se tratará de acotar la situación problemática planteada. Para poder hacer este análisis se deberá tener cierto dominio de los dos contextos teóricos de los cuáles surgen los problemas anteriormente citados. Hará falta que el estudiante sepa, por una parte, modelizar los intercambios energéticos que ocurren en las interacciones entre sistemas (modelización termodinámica macroscópica) y, por otra parte, saber asociar las correspondientes energías a los cambios microscópicos que ocurren en los procesos físicos y químicos (modelización atomista).

Manejar bien la primera modelización implica:

4. Saber delimitar cuáles son los sistemas que van a interactuar, cómo lo hacen macroscópicamente y saber clasificar los cambios físicos y químicos en exotérmicos y endotérmicos. Es decir, saber, por ejemplo, delimitar cuál es el sistema físico o químico que interese estudiar y lo que ocurre térmica y mecánicamente entre este sistema y un segundo sistema que, habitualmente, es el ambiente exterior. En este sentido es importante que los estudiantes sepan que si pasa el calor del sistema al ambiente o al revés, será preciso que el sistema estudiado vuelva a la temperatura inicial (enfriándose o calentándose) y así poder clasificar el fenómeno como exotérmico o endotérmico. En el caso de que el sistema esté aislado térmicamente del exterior o se realice demasiado deprisa –proceso adiabático- también hará falta saber empíricamente qué es lo que ocurre con la temperatura del propio sistema (ya que es él el primero que se calienta o se enfría al interactuar partes del propio sistema).

5. Los estudiantes han de superar las dificultades –en muchos casos, concepciones alternativas– que ha detectado la investigación y que suponen obstáculos a una correcta comprensión de la energía. En particular se pueden referenciar los siguientes conocimientos y destrezas:

- saber *diferenciar macroscópicamente el calor de la temperatura* y establecer correctamente las relaciones entre estas magnitudes;
- saber *analizar las transferencias y transformaciones energéticas entre sistemas físicos y químicos mediante la realización de trabajo y/o de calor*. Es decir, saber que el trabajo es una forma de transferir energía entre sistemas y, en particular, si están formados por gases (trabajo de compresión-expansión);
- saber que *el calor es otra forma de transferencia de energía entre dos sistemas solamente cuando están a diferente temperatura y cómo se calcula*;
- reconocer *la equivalencia mecánica del calor* y que siempre que se presenten en las interacciones fuerzas no conservativas parte o todo el trabajo realizado se convertirá en calor (superación de la hipótesis sustancial del calor);

- saber el significado de energía interna (y los sinónimos utilizados en la literatura como ‘energía térmica’ i/o ‘energía química’, procurando no caer en reduccionismos conceptuales) y saber **diferenciarla del concepto de ‘calor’** utilizado como un proceso para transferir energía entre sistemas a diferente temperatura (precisamente la no diferenciación en la enseñanza entre calor y energía interna es el que provoca gran número de confusiones);
- saber **aplicar correctamente las relaciones entre el calor, el trabajo y la variación de energía interna de un sistema** cuando interacciona con él mismo o con otro sistema aplicando macroscópicamente el primer principio de la Termodinámica;
- saber el **significado de entalpía** como nueva función energética que representa la suma de la **energía interna** (por estar a una temperatura y tener una configuración determinada) y del **potencial P.V** del sistema (este último potencial variará al interactuar, por ejemplo, con el ambiente si se realiza trabajo de expansión-compresión);
- saber que **la entalpía del sistema es una función de estado** y eso significa que su variación al pasar a otro estado es independiente del camino seguido por el sistema para llegar a aquel estado. Es decir, aunque el sistema, cuando interaccione con otro, pase de un estado **H₀** a otro **H₁** mediante diferentes caminos transfiriendo calor i/o realizando trabajo, la variación de H será la misma. El reconocimiento de H de un sistema como función de estado supone asumir que se cumple la ley de Hess;
- saber que eso no es contradictorio con la definición operacional de **ΔH** (introducida especialmente para poder medir esta variación) **como el calor producido o absorbido por el sistema cuando el proceso se realiza a presión y temperatura constantes pero siempre que no hayan otros procesos de transferencia de energía como, por ejemplo, realización de trabajo eléctrico o emisión de radiaciones distintas a las admitidas en la noción de calor;**
- saber que para poder comparar entalpías de formación de sustancias y de procesos hace falta un sistema de referencia estándar que asigne un origen de entalpías a las sustancias en los cambios químicos. A tal efecto se ha de saber que se asigna **entalpía estándar cero al estado físico de las sustancias simples en su forma alotrópica de menor entalpía a la presión de 1 atmósfera y a la temperatura de 25°C.**

Finalmente en el cuadro 3 se presentan las competencias conceptuales y epistemológicas que alcanzarán los estudiantes al interpretar energé-

ticamente mediante la interacción de partículas los posibles cambios físicos o químicos que se presenten en estas enseñanzas.

Cuadro 3. Competencias conceptuales y epistemológicas que han de lograr los estudiantes al interpretar energéticamente los posibles cambios físicos o químicos mediante la interacción de partículas (modelización microscópica).

6. Saber el modelo atómico-molecular de la materia (que es el mismo para gases y materia condensada) así como el modelo elemental de reacción, lo que implica los siguientes conocimientos:

- interpretación significativa de las variables de estado de un gas tales como la **presión** y el **volumen** de un gas ideal;
- mención especial requiere **la idea estadística de la temperatura** del gas relacionada con la energía cinética media de las partículas que se mueven caóticamente (esta idea de temperatura es importante para entender la de **energía interna térmica** como energía cinética de las partículas de un gas ideal, sin estructura, donde se supone que no hay interacción entre ellas o, lo que es lo mismo, que los choques entre partículas son elásticos);
- distribución normal de las velocidades de las partículas (según la estadística de Maxwell-Boltzmann) que depende de la temperatura;
- en caso de que haya materia condensada en el sistema hay que saber de la existencia de movimiento vibratorio en las partículas ligadas o enlazadas a cualquier temperatura y que esto supone saber asociar a estas configuraciones atómicas vibratorias **una energía interna potencial de tipo electromagnético** (también titulada ‘**energía química**’) **que contribuirá a la entalpía del sistema;**
- saber el **modelo elemental de reacción química** en los dos niveles de conceptualización macroscópica (cambio sustancial) y microscópica (choques inelásticos en los que hay ruptura de enlaces en las moléculas de las sustancias reaccionantes y formación de nuevos enlaces en las de los productos). En este último nivel se ha de saber asociar al cambio químico con una variación de entalpía del sistema si se supone que permanece constante la temperatura;
- saber que *la entalpía standard de un sistema (por ejemplo de una sustancia) tiene un significado cualitativo macroscópico de potencial energético debido a la configuración y temperatura del sistema (energía interna) y al trabajo de expansión-compresión que se pueda producir en la interacción con un segundo sistema.* Esta magnitud se introduce como una función de estado del sistema y su variación, ΔH , puede ser medida como el calor de reacción producido, a T y P constantes, siempre que en estos cambios solamente se transfiera energía en forma de calor i/o trabajo de expansión-compresión;
- saber manejar, desde un punto de vista microscópico, **la ΔH de un cambio físico o químico como el balance entre la entalpía aportada para romper los enlaces en las partículas de las sustancias reaccionantes y la liberada al formarse nuevos enlaces en las de las sustancias que se originan en el proceso a temperatura constante.**

7. Saber utilizar aspectos básicos del tratamiento científico del problema hasta llegar a su solución.

Esto implicará la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias e, incluso, idear diseños experimentales, realizar experimentos, interpretar física o químicamente datos numéricos, analizar críticamente proposiciones, impulsar la comunicación y saber analizar aplicaciones CTSA que permitan contextualizar la teoría aprendida y adoptar en el futuro actitudes responsables hacia el desarrollo científico y tecnológico y las implicaciones sociales que ello comporta.

Una vez definidas las competencias que la enseñanza de la termoquímica ha de lograr que adquieran los estudiantes, pasaremos a plantear cuáles son, en hipótesis, las principales deficiencias didácticas que podemos encontrar en la introducción habitual de estos contenidos conceptuales, epistemológicos y axiológicos teniendo en cuenta los resultados de la investigación didáctica.

Principales deficiencias de la enseñanza convencional de la termoquímica en libros de texto.

En este apartado se presentarán las consecuencias que se han derivado de la investigación sobre las principales deficiencias didácticas que posiblemente encontraremos en la enseñanza convencional de la Termoquímica y que serán puestas a prueba posteriormente en el siguiente apartado con los correspondientes diseños experimentales.

La didáctica de las ciencias, desde hace dos décadas, ha estado construyendo un cuerpo de conocimientos sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje (Martínez-Terrades 1998) y ha detectado la existencia de un conjunto de defi-

ciencias conceptuales, epistemológicas y axiológicas en la enseñanza habitual debido al desconocimiento del profesorado sobre la ciencia y sobre cómo se debería de enseñar. La investigación está mostrando que muchas de estas deficiencias didácticas están basadas en la existencia de visiones deformadas en el profesorado sobre la naturaleza de la ciencia, de la actividad científica (Mellado y Carracedo 1993; Matthews 1994; Fernández et al. 2002; Solbes y Traver 2003) y sobre el aprendizaje, difíciles de cambiar (Gil 1991; Carnicer y Furió 2002).

En efecto, las contribuciones de la filosofía, historia y epistemología de la ciencia a la didáctica de las ciencias ha puesto de relieve que, por ejemplo, el conocimiento científico es hipotético, es decir, elabora teorías y conceptos como respuestas tentativas de explicación a los problemas planteados por la ciencia, la tecnología y la sociedad (Cobern 2000; Glasson y Bentley 2000) superando así visiones empiristas, ateóricas y problemáticas sobre la construcción de estos conocimientos. Se reconoce que este conocimiento científico, y por tanto,

las leyes y los conceptos no son dogmas a aplicar en cualquier circunstancia ya que tienen limitaciones y campos de validez saliendo al paso de visiones rígidas y absolutas de la ciencia. Se va construyendo, estructurándose gradualmente, llegando a saltos cualitativos que, a veces, suponen revoluciones científicas (Thagard 1992) superándose aquellas visiones acumulativas lineales y acrílicas de las teorías y de los conceptos que tenemos los profesores. Por otra parte, detrás de estas construcciones hay una búsqueda constante de ir hacia síntesis globalizadoras de cuerpos teóricos inicialmente separados en contra de visiones exclusivamente analíticas y compartimentadas que tenemos los propios profesores (Fernández et al 2002). Una manera de extraer información valiosa sobre cómo los profesores introducen los conceptos y las teorías es a través de los libros de texto. En la investigación didáctica es bien conocida la influencia que ejercen los libros de texto en el profesorado y como se transmiten a su vez las visiones deformadas (Stinner 1992; Sutton 1998; Furió et al 2005)

Estas visiones deformadas de la naturaleza de la ciencia y su enseñanza que tenemos los profesores se manifestarán también cuando se enseñe la Termodinámica y, en particular, la Termoquímica tanto en el nivel de Bachillerato como en el universitario. Los aspectos de estas enseñanzas que se han seleccionado para su análisis y que pueden considerarse como consecuencias derivadas de la existencia de visiones deformadas de la ciencia y

su enseñanza (Furió et al 2005) son los siguientes:

- a) La introducción del tema de Termoquímica se realizará con una visión descontextualizada, socialmente neutra, sin tener presente la dimensión axiológica del aprendizaje.
- b) En el desarrollo del tema no se tendrán en cuenta la existencia de concepciones alternativas sobre los conceptos implicados (en particular, calor, trabajo y energía) que la investigación ha mostrado que constituyen obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la ciencia.
- c) Los textos pondrán el énfasis en aspectos conceptuales del contenido como, por ejemplo, definir operativamente energía interna y entalpía y, en cambio, pondrán poca atención a dificultades epistemológicas que pueden obstaculizar el aprendizaje como ocurre con las concepciones alternativas. Una primera dificultad se presenta cuando se introducen los conceptos de manera arbitraria sin tener en cuenta que son respuestas hipotéticas a hechos o fenómenos que se quieren explicar (visión aporosa de la ciencia). Otras dificultades epistemológicas importantes son, por ejemplo, no atribuir significado cualitativo a la entalpía de un sistema (cayendo en visiones rígidas de la ciencia) o no salir al paso de reduccionismos funcionales que suelen presentarse en razonamientos de sentido común cuando se hacen análisis termodinámicos en cambios físicos o químicos (Viennot

1996; Furió et al 2000; Furió et al. 2006).

- d) Tampoco será frecuente encontrar en los temas de Termoquímica explicaciones macroscópicas y microscópicas de un mismo cambio físico o químico donde se muestre la coherencia propia de los argumentos científicos. En particular, es de esperar que haya pocos ejemplos de análisis energéticos de aquellos cambios y, sobre todo, que apenas se presenten explicaciones microscópicas que, en general, son más fáciles de comprender para los estudiantes por su carácter mecánico.

Diseño experimental y presentación de los resultados obtenidos en el análisis crítico de la enseñanza habitual.

El diseño experimental empleado en este trabajo ha consistido en 15 cuestiones que constituyen una red de análisis sobre las deficiencias que se han supuesto y que cubren las consecuencias derivadas que se presentaron en el apartado anterior. Se han analizado una cantidad significativa de textos (N=30) de Química de 2º de Bachillerato y COU (preuniversitarios) y libros de Química General (de nivel universitario) cuya relación se expone en el anexo al trabajo que se ha adjuntado.

A continuación se presentan las consecuencias derivadas en subapartados que incluyen los ítems que se han elaborado para poner a prueba la hipótesis y

los resultados encontrados al aplicarlos al conjunto de los libros de texto.

1. La introducción de los temas de Termodinámica química se hará con una visión socialmente descontextualizada sin prestar atención a los aspectos axiológicos del aprendizaje.

En la tabla 1 se presentan los ítems 1 y 2 cuyos objetivos consisten, respectivamente, en ver si los textos tienen en cuenta las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) y si hacen referencia a aspectos o comentarios históricos sobre cuáles fueron los principales problemas científicos y tecnológicos que se resolvieron al introducir los nuevos conceptos y la Termodinámica como nueva ciencia que introdujo el concepto de energía para explicar macroscópicamente las interacciones entre sistemas.

Como puede observarse, la mayoría de los libros, es decir el 70% no han llegado a introducir, al menos, 3 ejemplos de relaciones CTSA. Sólo una tercera parte de los textos salen al paso de una visión socialmente descontextualizada de la actividad científica (ítem 1) y el porcentaje aún es más bajo cuando se consideran los libros que tienen en cuenta el desarrollo de la historia, ya que es sólo del 16,7%, transmitiendo la mayoría una visión aproblemática y ahistórica en la construcción de los conceptos científicos (ítem 2).

2. Los textos de Química cuando exponen el o los capítulos sobre

Tabla 1. Porcentaje de respuestas afirmativas a las cuestiones 1 y 2 de la red de análisis sobre aspectos axiológicos.

Contenido de la pregunta	Porcentaje de resp. 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 que motivaron el nacimiento de la Termodinámica como una ciencia moderna en el S.XIX?	16,7

Termoquímica no tendrán en cuenta las posibles concepciones alternativas de los estudiantes sobre conceptos considerados prerrequisitos conceptuales (trabajo, calor y energía) en estos niveles educativos.

Los ítems 3, 4 y 5 de la red de análisis se han destinado a ver en qué medida los libros de texto han incorporado los resultados de la investigación didáctica sobre la existencia de concepciones alternativas en estudiantes de niveles educativos de secundaria sobre conceptos como calor, trabajo y energía considerados prerrequisitos conceptuales para poder comprender los conceptos más complejos de energía interna y entalpía. El ítem 3 se refiere a la habitual confusión de los alumnos entre calor y temperatura. El 4 hace referencia a la concepción muy abundante de que la energía es un sustrato

material existente, en particular, en los materiales combustibles. El ítem 5 se destina a observar si los textos llaman la atención sobre la condición del calor y trabajo como variables de transferencia energética y, en particular, no son propiamente variables energéticas de los sistemas.

Como se puede observar los resultados de las cuestiones 3 y 4 son bastante elocuentes, dado que sólo el 26,7% de los libros diferencian explícitamente entre calor y temperatura y sólo el 3,3% de ellos indican que la energía no es ninguna sustancia que se encuentre en los cuerpos. Estas dos concepciones alternativas, entre otras, se han detectado en la literatura didáctica y también aparecen en las respuestas de estudiantes universitarios en cuestionarios ad hoc que se han aplicado, siendo ideas bastante reiterativas y difíciles de cambiar (Furió-Gómez 2004).

Tabla 2. Porcentaje de respuestas afirmativas a las cuestiones 3, 4 y 5 de la red de análisis sobre concepciones alternativas de conceptos básicos (calor, trabajo y energía) al introducir la Termoquímica en libros de texto.

Contenido de la pregunta	Porcentaje de resp. afirmativas (%)
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 energía sino formas de transferir energía entre sistemas?	43,3

3. Los textos no pondrán demasiado énfasis en la presentación de análisis energéticos (macroscópicos o microscópicos) de cambios físicos o químicos y, en particular, no saldrán al paso de dificultades epistemológicas importantes en forma de fijaciones y/o reduccionismos funcionales que suelen presentarse como razonamientos de sentido común.

La investigación ha puesto de manifiesto que la enseñanza no solamente puede obstaculizar el aprendizaje no teniendo en cuenta las concepciones alternativas de los estudiantes sino que también se ha de prestar atención a razonamientos y argumentos de sentido común como son, por ejemplo, la reducción y la fijación funcionales (Furió,

Solbes y Carrascosa 2006). Según Viennot (1998) los estudiantes universitarios cuando se les pregunta como puede variar la presión de un gas, considerada como función, cuando cambia el volumen del mismo no suelen tener en cuenta al resto de variables de las que también depende la presión como la temperatura y la cantidad de sustancia. Es decir, los estudiantes reducen el análisis funcional de $P = f(V, T, n)$ a lo más sencillo, la función $P = f(V)$, sin saber qué pasa con las demás variables independientes. Otra reducción funcional frecuente en el análisis termodinámico de, por ejemplo, la expansión adiabática de un gas contra el entorno es considerar solamente la transferencia de energía en forma de calor sin tener en cuenta la realización de trabajo entre los sis-

temas que interaccionan (Furió-Gómez 2004). Es decir, la enseñanza convencional presta mucha atención a la componente conceptual del aprendizaje y muy poca a estas dificultades epistemológicas cuya importancia se está poniendo de relieve. En este sentido, se han incorporado a la red de análisis cuatro ítems, para comparar el énfasis que los textos ponen en aspectos conceptuales como son, por ejemplo, las definiciones de sistema (ítem 6) y de energía interna de un sistema (ítem 8) frente a aspectos epistemológicos como la realización de análisis energéticos de cambios físico-químicos (ítem 7) y la presencia de posi-

bles dificultades en forma de reduccionismos funcionales (ítem 9). En la tabla 3 se presentan los resultados encontrados al aplicar estos ítems al conjunto de los 30 libros de texto.

En la cuestión 6 vemos que las dos terceras partes (66,7%) de los libros de texto dan afirmativo, lo que significa que sí se pone bastante énfasis en advertir al lector qué es un sistema y que ha de interaccionar con otros sistemas, como puede ser, por ejemplo, el medio ambiente. También es mayoritaria y muy parecida la cantidad de libros que introducen el concepto cualitativo de energía interna (70%). En cambio,

Tabla 3. Porcentajes de respuestas afirmativas a las cuestiones 6,7, 8 y 9 de la red de análisis que pretenden poner a prueba si los textos no tienen en cuenta aspectos metodológicos fundamentales de la actividad científica.

Contenido de la pregunta	Porcentaje de resp. afirmativas (%)
3. ¿Se presenta qué es un sistema y que, en el caso más sencillo, casi siempre se va a considerar que van a interaccionar dos sistemas o dos partes de un mismo sistema?	66,7
7. ¿Se presentan en el tema, al menos 3 ejemplos de análisis energético de fenómeno o situación en los cuales los estudiantes están poco familiarizados?	40,0
8. ¿Se introduce el concepto cualitativo de energía interna?	70,0
9. ¿Se advierte al lector de posibles reduccionismos funcionales en las formas de razonar en los cuales se puede caer fácilmente?	3,3

el porcentaje de libros que presenta, al menos, tres ejemplos macroscópicos de análisis energético de situaciones (ítem 7) donde han de ponerse en práctica dichos conceptos, no llegan a la mitad (40%). Y en el ítem 9 la casi totalidad de los libros (29 de 30) no tienen en cuenta la existencia de posibles obstáculos epistemológicos en forma de razonamientos de sentido común como, por ejemplo, pueden ser los reduccionismos funcionales.

4. La enseñanza no saldrá al paso de una visión rígida y algorítmica de la ciencia donde prima la atención a las definiciones operativas de los conceptos introducidos como es, en este caso, el de entalpía y, en cambio, no presentará ideas cualitativas que le den significado ni pondrá de relieve que este concepto científico, como cualquier otro, tiene un campo de validez limitado.

En esta consecuencia se hacía referencia a que la enseñanza habitual de la ciencia suele introducir los conceptos de forma aproblemática, incluso, sin presentar los hechos que quiere explicar (ítem 10), en su forma operativa acabada y sin introducir ideas cualitativas que puedan dar sentido físico o químico a estas definiciones operativas (ítems 11, 12 y 13). Esta visión aproblemática se relaciona fácilmente con una visión rígida e infalible de la ciencia según la cual no se muestran las limitaciones de las leyes y conceptos, es decir, no se pre-

senta el campo de validez del concepto de entalpía (ítem 14).

En la tabla 4 se presentan los resultados encontrados al aplicar estos seis ítems a los 30 libros de Química.

Como vemos en el resultado del ítem 10, se constata que sólo el 53,3% de los libros presenta los efectos térmicos producidos en los cambios que se quieren explicar y la clasificación de estos fenómenos en exotérmicos y endotérmicos, previamente a la introducción del concepto de entalpía. Este porcentaje puede considerarse bajo si tenemos en cuenta que precisamente los efectos térmicos de los cambios físicos y químicos constituyen el problema que se pretende resolver en estas enseñanzas y, por tanto, su presentación inicial es necesaria para que los estudiantes puedan adquirir el referente empírico al que hace falta dar explicación mediante la introducción del concepto.

En relación con la conceptualización de la entalpía que presentan los textos, hace falta destacar que mientras 4 de cada 5 (80% en el ítem 11) da una definición operativa ($H=U+P.V$) derivándola de la ecuación del primer principio de la Termodinámica, se invierte este porcentaje cuando hay que dar una significación de la entalpía a partir de ideas cualitativas ya que sólo 1 de cada 4 libros (20%) lo hace en el ítem 12. Es decir, la mayoría de los textos no salen al paso de una visión rígida de la naturaleza de la ciencia ya que prefieren introducir directamente la algoritmización matemática en lugar de comenzar con una conceptualización que dé sen-

Tabla 4. Porcentaje de respuestas afirmativas a las cuestiones de la red de análisis sobre deficiencias didácticas en la introducción del concepto de entalpía.

Contenido de la pregunta	Porcentaje de resp. 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 define la H como la suma U+P.V?	80,0
12. ¿Se introduce alguna idea cualitativa del concepto de entalpía de un sistema?	26,7
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 de ΔH de un cambio?	30,0

tido químico al concepto. Este resultado es convergente con los obtenidos por Barlet y Mastrot (2000).

También encontramos que ocurre lo mismo cuando se introduce la medida de la variación de entalpía de un proceso pues la casi totalidad de los libros (93,3%) da la definición procedimental como ‘*el calor de reacción a presión constante*’ (ítem 13). Esta equivalencia tiene el problema de que los lectores puedan darle un significado erróneo a la entalpía como una especie de ‘*calor o contenido calorífico*’ del sistema que tan frecuentemente se da entre los estudiantes. Por otra parte, casi las $\frac{3}{4}$ partes de

los libros (70%) no especifican el campo de validez o las limitaciones de este concepto (ítem 14) como, por ejemplo, que el calor de reacción producido a presión constante en un cambio químico no será equivalente a ΔH si, por ejemplo, en el proceso se está produciendo al mismo tiempo trabajo eléctrico.

5. La enseñanza no favorecerá que los estudiantes hagan análisis cualitativos microscópicos de fenómenos termodinámicos convergentes con los macroscópicos mostrando la coherencia de

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 resp. afirmativas (%)
15. ¿Se presenta algún ejemplo de interpretación microscópica (mecánica estadística) de un hecho o situación que habitualmente se interpreta macroscópicamente con el primer principio de la Termodinámica?	33,3

cuerpo teórico y facilitando así su comprensión.

Por último, recordemos que una deficiencia didáctica importante que está resaltando la investigación es la superposición de las representaciones macroscópica, microscópica y simbólica a la que somos muy dados los profesores en la enseñanza de la Química (Gabel 1998; Furió et al 2005). Algo distinto pasa en el caso de la enseñanza de la Termoquímica. Este caso es especial ya que, como se ha indicado anteriormente en los cuadros 1, 2 y 3, es muy posible que, de las dos interpretaciones energéticas correctas, macro y micro que se pueden hacer de un mismo cambio físico o químico, la enseñanza solamente ponga el énfasis en la primera modelización que históricamente surgió con la Termodinámica general (macro) y se olvide de presentar la modelización microscópica con lo que estaría ausente la posibilidad de establecer una relación complementaria necesaria (Atkins 1992). Es por ello que se ha elaborado un ítem, el 16, que tiene por objeto ver

en qué medida la enseñanza de la Termoquímica presenta ejemplos de interpretaciones microscópicas de fenómenos que habitualmente se explican con la primera ley de la Termodinámica en el nivel macroscópico.

Como puede constatarse en el resultado encontrado al aplicar el ítem 15 a los 30 libros de texto (tabla 5), hay un 70% de los libros que no presentan ningún ejemplo de análisis microscópico donde se explique, por ejemplo, la relación entre la energía interna de un sistema formado por muchísimas partículas que interacciona con el exterior (o con él mismo) y las transferencias de energía en forma de trabajo y calor haciendo uso del primer principio de la Termodinámica. Se pierde así la oportunidad de dar significado microscópico a conceptos macroscópicos como energía interna, entalpía, calor y trabajo y, sobre todo, de proporcionar estrategias diferentes que conducen a una misma solución mostrando la coherencia de los argumentos científicos en los análisis

energéticos y, en definitiva, de la propia ciencia.

Conclusiones y perspectivas

En resumen, las conclusiones obtenidas en este trabajo podemos resumirlas poniendo de relieve que han sido contestadas las dos principales cuestiones planteadas en el mismo. La primera de ellas relativa a cuáles son las principales competencias conceptuales, epistemológicas, metodológicas y axiológicas que habrían de adquirir los estudiantes en un curso de Termoquímica para poder afrontar con cierto éxito el análisis sobre cómo ocurren las transferencias energéticas en sistemas con gran número de partículas que interactúan. En los cuadros 1, 2 y 3 presentados anteriormente se han detallado estas competencias y se ha justificado la existencia de dificultades intrínsecas en su adquisición debido a que se han de establecer relaciones adecuadas entre las modelizaciones macroscópica y microscópica de las interacciones de los sistemas en los que se producen cambios físicos o químicos. Esta complejidad de las visiones macroscópica y microscópica de estos fenómenos termodinámicos unida a las deficiencias didácticas que se presentan en la enseñanza de la Termoquímica pueden explicar el elevado fracaso escolar en este dominio.

Precisamente la segunda cuestión que se ha abordado en el trabajo ha sido mostrar algunas de las principales deficiencias didácticas que se presentan en el capítulo de Termoquímica de 30

libros de los niveles preuniversitario y universitario. Deficiencias derivadas de la existencia de visiones deformadas de la ciencia y su enseñanza en el profesorado de Química. El análisis crítico realizada a través de los 16 ítems de la red de análisis de los libros de texto, constatan la presencia de deficiencias didácticas en gran parte de aquellos libros al no tener en cuenta los conocimientos que está aportando la didáctica de las ciencias como cuerpo teórico de conocimientos. Los más importantes que se han mostrado en este trabajo han sido los siguientes:

- la falta de preocupación en la enseñanza por incluir relaciones CTSA en el desarrollo del tema o temas de Termoquímica;
- el no tener en cuenta la existencia de dificultades conceptuales en forma de concepciones alternativas sobre prerrequisitos conceptuales como la energía, el calor y el trabajo;
- la ausencia de críticas respecto a formas de razonamiento de sentido común en las explicaciones de los estudiantes como, por ejemplo, la reducción funcional;
- el excesivo énfasis de los libros por introducir de forma operativa y carente de significado conceptos de difícil comprensión como la entalpía de un sistema a los que suelen dar un campo de validez general sin mostrar sus limitaciones;
- la falta de introducción de ejemplos de análisis energéticos que permitan familiarizar a los estudiantes con estrategias próximas a las científicas

utilizando de forma complementaria modelizaciones macroscópicas y microscópicas para explicar los mismos fenómenos y así facilitar la comprensión de estos conocimientos en los estudiantes.

La principal perspectiva del trabajo realizado consistirá en comenzar otro en el que se diseñen y desarrollen estrategias de enseñanza que sean más acordes con los resultados de la investigación en didáctica de las ciencias y, por supuesto, evaluar los logros de aprendizaje cuando se aplican en una clase del último curso del Bachillerato científico o en cursos universitarios de las licenciaturas de Física o Química. Estudio que abordaremos en un futuro próximo.

Referencias bibliográficas

- ATKINS, P.W. 1992. *La segunda ley*. Barcelona: Prensa científica.
- 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.
- CARNICER, J. y FURIÓ, C., 2002. La epistemología docente convencional como impedimento para el cambio. *Investigación en la Escuela*, 47, 33-52.
- COBERN, W.W., 2000. The nature of science and the role of knowledge and belief. *Science & Education*, 9 (3), 219-246.
- COHEN, I. y BEN-ZVI, R., 1992. Improving students achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials & strategies. *International Journal of Science Education*, 14 (2), 147-156.
- DOMÈNECH, J.L., 2001. L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora. Tesis doctoral. Universitat de València.
- DOMÍNGUEZ, C. y FURIÓ, C., 2001. Knowing the history of science to understand students' difficulties with the concept of chemical substance. En D. Psillos et al (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on 'Science Education Research in the Knowledge Based Society'*, vol. I, 365-367. Thessanoliiki: ESERA-University of Thessanoliiki.
- DUIT, R., 1981. Understanding energy as a conserved quantity-remarks on the article by R.U. Sexl. *European Journal of Science Education*, 3(3), 291-301.
- DUIT, R., 2004. Bibliography: Students' and teachers' conceptions and science education (STCSE). Kiel: Germany: Leibnitz- Institute for Science Education. (IPN). (<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>).
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRAS-COSA, 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-MÁS, C. y DOMÍNGUEZ-SALES, C., 2006. Problemas históricos y dificultades de los estudiantes

- en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias* (aceptado para publicar).
- FURIÓ C., HERNÁNDEZ, J. & HARRIS, H., 1987. Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), 616-618.
- FURIÓ, C., CALATAYUD, M^a L., BÁRCENAS, S.L. 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.
- FURIÓ, C., VALDÉS, P. y GONZÁLEZ DE LA BARRERA, L., 2006. Trabajos prácticos como actividades Educación Química,
- FURIÓ-GÓMEZ, C., 2004. Anàlisi crítica de l'ensenyament-aprenentatge de la Termodinàmica química en la Universitat. Primers resultats. Treball de Investigació. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.
- FURIÓ-MÁS, C., CALATAYUD, M.L., GUIASOLA, J. y FURIÓ-GÓMEZ, C., 2005. How are the concepts and theories of acid-base reactions presented? Distorted views of Chemistry in textbooks and the teachers. *International Journal of Science Education*, 27 (11), 1337-1358.
- FURIÓ-MÁS, C, SOLBES, J. y CARRASCOSA, J. 2006. Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. Resultados y perspectivas. *Alambique*, n° 48, 64-77.
- GABEL, D.L., 1998. The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. En B.J. FRASER & K. G. TOBIN (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Vol. I, 233-248 (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht)
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.
- GIL, D., 1991. ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 69-77.
- GLASSON, G.E. y BENTLEY, M.L., 2000. Epistemological undercurrents in scientists' reporting of research teachers. *Science Education*, 84 (4), 469-485.
- HARRISON, A. G., GRAYSON, D.J. y TREAGUST, D.F., 1999. Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 55-87.
- HASWEH, M. Z., 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- 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.

- MARTÍNEZ-TERRADES, F.S., 1998. La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. Génesis, estado actual y perspectivas. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- MATTHEWS, M. R., 1994. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277.
- MELLADO, V. y CARRACEDO, D., 1993. Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 331-339.
- MORTIMER, E.F., 1995. Conceptual change or change of a conceptual profile change? *Science & Education*, 4, 267-285.
- PINTÓ, R., 1991. Algunos conceptos implícitos en la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- SOLBES, J. y TRAVER, M., 2003. Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science & Education*, 12 (7), 703-717.
- SOLBES, J. y TARÍN, F., 1998. Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), 387-397.
- SOLBES, J. y TARÍN, F. 2004. La conservación de la energía: un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados, *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (2), pp. 185-194.
- STINNER, A., 1992. Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76 (1), 1-16.
- SUTTON, C., 1998. New perspectives on language in science. En B. FRASER & K.G. TOBIN (eds.), *International Handbook on Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- THAGARD, P 1992. *Conceptual revolutions*. New Jersey: Princenton University Press
- TIBERGHIE, A., 1983. Critical Review on Research Aimed at elucidating the sense that notion of temperature and heat have for the students aged 10 to 15 years. *Proceedings of the First International Workshop*, 75-90, La Londe les Maures.
- VIENNOT, L., 1998. Experimental facts & ways of reasoning in thermodynamics: learner's common approach. *I.C.P.E. Book. International Commissions on Physics Education 1997, 1998*.
- VILCHES, A. y GIL-PÉREZ, D., 2003. *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University.

ANEXO. RELACIÓN DE TEXTOS DE QUÍMICA DE BACHILLERATO Y QUÍMICA GENERAL DE UNIVERSIDAD

Textos de Química de 2º curso de Bachillerato

- FIDALGO J.A. y I FERNÁNDEZ, M.R. 1999. *Química 2*. León: Everest, S.A.
MORCILLO, J. I y FERNÁNDEZ, M. 1990. *Química COU*. Salamanca: Anaya.
QUILEZ, J. et al. 1998. *Química 2*. Valencia: ECIR.
SAURET, M. 1993. *Química COU*. Madrid: Bruño.

Textos de Química General.

- ATKINS, P. y JONES, L. 1989. *Química*. Barcelona: Ediciones Omega..
BABOR-IBARZ, 1935. *Química General Moderna*. Barcelona: Marín, S.A.
BAILAR J.C., MOELLER T., KLEINBERG J., GUSS C.O.; CASTELLION M.E. y METZ C. 1985. *Química*. Barcelona: Vicens Vives, S.A.
BECKER, M. y WENTWORTH, L. 1977. *Química General*. Barcelona: Reverté.
BRADY, F., RUSELL, C. y HOLUM, J. 2000. *Chemistry*. USA: Brace Jovanovich.
BROWN, T.L., LEMAY, H.E. y BURSTEN, M.L. 1998. *Química*. México: Prentice Hall.
CASTELLS, J. 1985. *Química General y Bioorgánica*. Barcelona: Alhambra S.A.
DICKERSON, L., GRAY, J. y DARENSBOURG, P. 1986. *Principios de Química*. Barcelona: Reverté.
GARRITZ, A. y CHAMIZO, J.A. 1994. *Química*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.
GILLESPIE, L., BAIRD, J. y ROBINSON, R. 1990. *Química*. Barcelona: Everest, S.A.
GRAY, H.B. y HAIGHT, G.P. 1969. *Principios básicos de Química*. Barcelona: Reverté, S.A.
GUTIERREZ RÍOS, E. 1985. *Química*. Barcelona: Reverté.
KOTZ, R. y PURCELL, M. 1987. *Chemistry and Chemical reactivity*. USA: Saunders College Publishing.
LOZANO, J.J. y VIGATA, J.L. 1983. *Principios de Química General*. Madrid: Alhambra.
MAHAN, B. H. 1968. *Química. Curso universitario*. USA: Fondo Educativo Interamericano, S.A.
MASTERTON, W. L. y SLOWINSKI, E.J. 1968. *Química General Superior*. Madrid: Alhambra.
MOORE, J.W., DAVIS, W.G. y COLLINS, R.W. 1981. *Química*. Bogotá: Mc. Graw-Hill.
PETRUCCI, R.H. y HARWOOD, L.M. 1998. *Química General*. México: Prentice Hall.
PIMENTEL, G.C. y SPRATLEY, R.D. 1978. *Química Razonada*. Barcelona: Reverté.
RUSELL, J. B. 1980. *Química General*. Madrid: Mc. Graw-Hill.
SEARS, B.G. y SALINGER, G.L. 1980. *Termodinámica, teoría cinética y termodinámica estadística*. Barcelona: Reverté.
SEGAL, B.G. 1989. *Chemistry: Experiment and Theory*. Singapore: Wiley.
STRANKS, D.R. et al. 1967. *Química*. Madrid: Selecciones Científicas.
USÓN, R. 1970. *Química Universitaria Básica*. Madrid: Alhambra.
WHITTEN, L., GAILEY, R. y DAVIS, J. 1981. *General Chemistry*. USA: Saunders College Publishing.
YODER, C.H., SUYDAM, F.H. y SNAVELY, F.A. 1975. *Chemistry*. USA: Harcourt Brace Jovanovich.