



Dificultades conceptuales y epistemológicas de futuros profesores de Física y Química en las explicaciones energéticas de fenómenos físicos y químicos

Conceptual and epistemological difficulties of future teachers of physics and chemistry in the energetic explanations of physical and chemical phenomena

Cristina Furió Gómez, Carlos Furió Más

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València
cristina.furio@uv.es, carles.furio@uv.es

RESUMEN • En este trabajo analizamos las dificultades conceptuales y epistemológicas que tienen sobre termoquímica estudiantes universitarios de los últimos cursos de Física, Química e Ingeniería Química. Para ello se han aplicado a una muestra de 35 de estos futuros profesores dos cuestionarios sobre efectos térmicos en fenómenos físicos y químicos que han de explicar y se han categorizado sus respuestas según los razonamientos usados. Se ha constatado que la mayoría de los estudiantes no saben delimitar en el nivel macroscópico los sistemas que interaccionan, no utilizan el concepto de energía interna ni la primera ley de la termodinámica en los procesos físicos y químicos. Muy pocos de estos profesores en formación usan razonamientos de tipo submicroscópico para explicar estos efectos en los cambios físicos y químicos y, cuando lo hacen, la mayoría de sus explicaciones son incorrectas.

PALABRAS CLAVE: dificultades epistemológicas; termoquímica; profesores en formación; razonamientos espontáneos; niveles macroscópico y submicroscópico.

ABSTRACT • In this paper we analyze the conceptual and epistemological difficulties which have on thermochemical the physics, chemistry and chemical engineering students that they are preparing to be teachers of physics and chemistry. It has been applied to a sample of 35 prospective teachers' two questionnaires on thermal effects in physical and chemical phenomena that explain them and we have categorized their responses according to the reasoning used. It has been confirmed that most of the students do not know delimit systems that interact, do not use the concept of internal energy and the first law of thermodynamics in physical processes. Almost none trainee teachers use submicroscopic reasoning to explain these thermal effects in the physical and chemical changes and almost every explanations are incorrect.

KEYWORDS: epistemological difficulties; thermochemistry; trainee teachers; spontaneous reasoning; macroscopic and submicroscopic levels.

Recepción: diciembre 2014 • Aceptación: junio 2016 • Publicación: noviembre 2016

Furió Gómez, C., Furió Más, C., (2016) Dificultades conceptuales y epistemológicas de futuros profesores de Física y Química en las explicaciones energéticas de fenómenos físicos y químicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 34.3, pp. 7-24

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El principal factor que influye en el aprendizaje, si se exceptúa al aprendiz, es, sin duda, el de la enseñanza recibida. De ahí la importancia que se le está dando al conocimiento del profesor en la investigación en didáctica de las ciencias (Abell, 2007). Si en algo están de acuerdo los profesores universitarios de ciencias y los investigadores en didáctica de las ciencias es en que la primera condición necesaria para una enseñanza efectiva es que el profesor sepa los contenidos científicos que ha de enseñar (Shulman, 1986). Ahora sabemos que esta condición no es suficiente ya que, además, el profesor ha de conocer, entre otras cosas, la naturaleza de la ciencia (Abd-El-Khalic, 2012), las estrategias de enseñanza que se deben emplear y, en particular, las dificultades de los estudiantes. Si, además, los contenidos científicos son complejos, como ocurre con los de energía interna y entalpía, es lógico pensar que aparezcan dificultades de comprensión incluso en estudiantes universitarios. Pero si estas dificultades siguen presentándose en los que están acabando las carreras de Física, Química o Ingeniería Química será motivo de preocupación y, más aun, si están preparándose para ser profesores de Física y Química. Recordemos que, hasta hace pocos años la formación inicial de un profesor de Física y Química se concebía como una preparación en contenidos científicos que se lograba al completar las licenciaturas universitarias correspondientes y como una preparación pedagógica que se adquiría con el certificado de aptitud pedagógica (CAP). La obtención del CAP era preceptiva para poder ser profesor en la educación secundaria. En alguna universidad se podía convalidar el CAP aprobando al final de la licenciatura de Física o de Química una asignatura optativa de Didáctica de las Ciencias de 12 créditos, que se impartía durante todo un curso académico. Es en este contexto universitario en el que se realizó esta investigación. Y, aunque han cambiado los planes de estudio universitarios de Física y Química, los contenidos científicos de termodinámica y termoquímica siguen impartándose en los nuevos grados españoles. La importancia de esta investigación reside en ver las posibles ideas espontáneas sobre fenómenos térmicos que pueden tener los estudiantes de los últimos cursos universitarios, futuros profesores de Física y Química (De Jong, 2000).

El objetivo de este trabajo trata de analizar las dificultades conceptuales y epistemológicas que se presentan en dos grupos de estudiantes universitarios de Didáctica de las Ciencias, profesores de Física y Química en formación, cuando han de explicar macroscópicamente o submicroscópicamente los efectos térmicos en procesos físicos y químicos. En particular, se tratará de responder a las siguientes cuestiones:

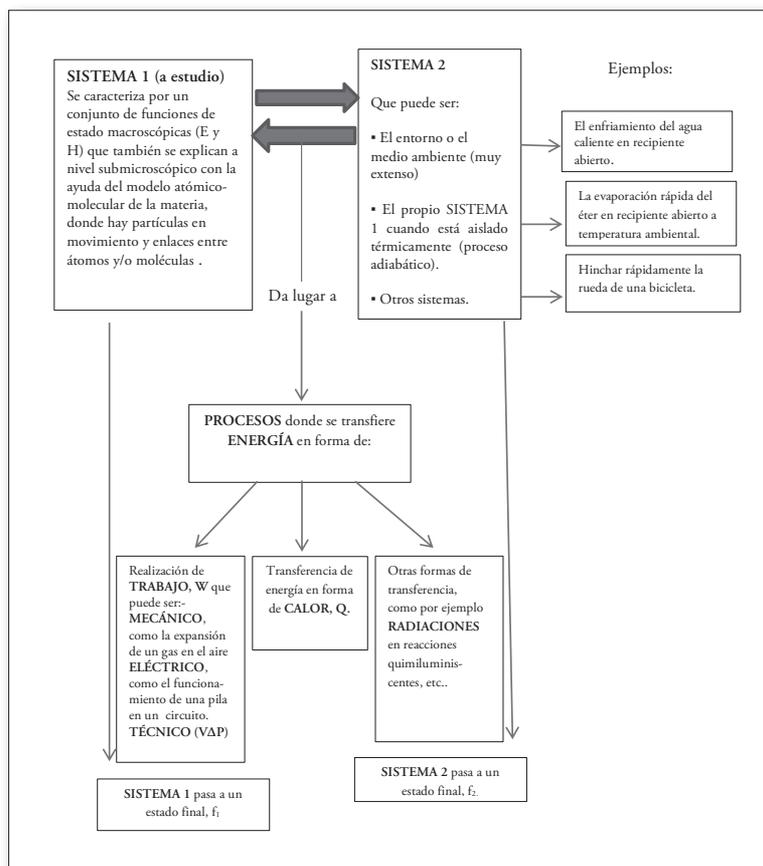
- ¿En qué medida estos futuros profesores predicen y explican correctamente los efectos térmicos en fenómenos físicos y químicos?
- ¿Qué ideas y razonamientos espontáneos suelen presentarse en las explicaciones dadas por estos estudiantes universitarios a estos efectos térmicos?

¿QUÉ SIGNIFICA TENER UNA COMPREENSIÓN ADECUADA DE LAS TRANSFERENCIAS ENERGÉTICAS ENTRE SISTEMAS CUANDO SE PRODUCEN CAMBIOS FÍSICOS O QUÍMICOS?

Una adecuada comprensión de cómo se transfiere la energía en los procesos físicos y químicos requiere un cierto dominio de los conceptos de calor, trabajo, energía interna y entalpía, así como de la primera ley de la termodinámica. Según Bauman (1992), a esta ley se le atribuye en algunos textos universitarios un significado erróneo de principio de conservación de la energía. El primer principio de la termodinámica suele aplicarse al considerar que el sistema está cerrado e intercambia energía con otro sistema mediante realización de trabajo (W) y/o en forma de calor (Q). En este caso la variación de energía interna (ΔE) del sistema vendrá dada por la relación $\Delta E = Q + W$, en la que Q será positivo si es un

proceso endotérmico y W será negativo si es el sistema el que hace el trabajo sobre el otro sistema. En caso de que el sistema esté aislado, se aplicará el principio de conservación de la energía y, por tanto, la variación de energía total será nula. En cualquier proceso físico o químico también se suele introducir como función de estado la entalpía del sistema definida como $H = E + P.V$ y cuya variación integrada es $\Delta H = Q + W + P\Delta V + V\Delta P$. En el caso de que el proceso se realice a P constante y que solamente se haga trabajo de expansión, y ningún otro tipo de trabajo, como por ejemplo eléctrico, entonces $\Delta H^\circ = Q_p$, siendo este valor independiente del camino seguido para llegar de H_1 a H_2 . A nivel macroscópico se interpreta que $\Delta H^\circ = H_f(\text{productos}) - H_f(\text{reactivos})$ siendo H_f las entalpías estándar de formación de las sustancias. En el nivel submicroscópico esta ΔH° ha de coincidir con la diferencia entre las entalpías aportadas para romper los enlaces de las moléculas de los reactivos y las liberadas al formarse los enlaces en las de los productos (Chang, 1992). Hay que tener presente que la entalpía no es una forma de energía (Nilsson y Niedderer, 2014). En el contexto químico se requiere establecer relaciones entre dos modelos teóricos. Por una parte, tenemos el modelo termodinámico general, que explica cómo se transfiere macroscópicamente la energía al interactuar (cuadro 1) y, por otra, el modelo atómico de la materia, que también interpreta energéticamente los cambios en el nivel submicroscópico, considerando la ruptura y formación de enlaces (Tregust *et al.*, 2003). Esta relación epistemológica entre los dos modelos es importante porque muestra la coherencia de los resultados científicos, facilitando así la comprensión del estudiante (Atkins, 1992; Furió *et al.*, 2007; Prilliman, 2014).

Cuadro 1.
Modelización termodinámica para el análisis energético de la interacción entre dos sistemas físicos o químicos



En el cuadro 1 se presenta un esquema de modelo termodinámico para describir y explicar la transferencia de energía o entalpía entre dos sistemas en el nivel macroscópico. En el caso de que el sistema no esté aislado y solo se consideren sus variables de estado (E y H) y las variables de proceso (Q y W) en la interacción con otros sistemas se aplicará la primera ley de la termodinámica como se ha indicado anteriormente. Si el sistema está aislado, se aplicará el principio de conservación de la energía: $\Delta E = 0$, donde E es la energía total. En el caso más sencillo de que el sistema esté formado por dos subsistemas que interactúan mecánicamente, el principio de conservación de la energía puede expresarse en el nivel submicroscópico, por ejemplo, como: $[\Delta E_{k,1} + \Delta E_{p,1}] + [\Delta E_{k,2} + \Delta E_{p,2}] = 0$, donde $\Delta E_{k,1}$ es la variación de las energías cinéticas asociadas a las partículas del subsistema 1 en el proceso y $\Delta E_{p,1}$ representa la variación de las energías potenciales asociadas a los enlaces entre las partículas del mismo subsistema 1. Lo mismo se aplica a las variaciones de las energías en el subsistema 2.

DISEÑO PARA REVISAR LOS CONOCIMIENTOS DE TERMOQUÍMICA DE PROFESORES DE FÍSICA Y QUÍMICA EN FORMACIÓN

A continuación se pasó a elaborar un diseño para analizar las posibles dificultades que se presentan en una muestra de estudiantes universitarios de Física, Química e Ingeniería Química que cursaban una asignatura optativa de Didáctica de las Ciencias en cuyo programa había un tema sobre concepciones alternativas y razonamientos espontáneos de los estudiantes de bachillerato. Al iniciar este tema se les invitó a realizar un pretest sobre termoquímica con el objetivo de ver qué recordaban sobre cómo se interpretan energéticamente o entálpicamente procesos físicos y químicos. Todos los estudiantes habían aprobado las asignaturas de termodinámica o termoquímica en sus respectivas carreras y dada la formación recibida hacía uno o dos años, se elaboró un diseño *ex post facto* (Cohen *et al.*, 2008) consistente en un test y una autovaloración de las respuestas de los estudiantes sobre sus propias dificultades. El test a base de dos cuestionarios Q_1 y Q_2 contiene preguntas abiertas con el fin de analizar las respuestas predictivas y explicativas de los profesores en formación sobre cambios físicos y químicos sencillos. Q_1 tiene como objetivo ver cómo aplicaban la primera ley de la termodinámica a dos procesos físicos adiabáticos (anexo 1). El ítem 1 de Q_1 tiene por objeto ver cómo predicen y explican lo que le ocurre a la temperatura de un gas que se expande contra el entorno atmosférico. El ítem 2 de Q_1 trata de ver cómo justifican lo que le ocurre a la T del éter líquido contenido en una cápsula abierta cuando se evapora. Q_2 consta de 3 ítems para analizar cómo explican el carácter exotérmico o endotérmico de un proceso físico y dos químicos mediante la variación de entalpía (anexo 2). En el ítem 3 de Q_2 se comparan cualitativamente las entalpías de formación del agua gaseosa y del agua líquida en un proceso a T y P constantes. En los ítems 4 y 5 de Q_2 se seleccionaron dos reacciones sencillas. En el ítem 4 se daba como dato en la neutralización de HCl y $NaOH$ que el sistema se autocalentaba y se solicitaba que explicaran su carácter exotérmico o endotérmico. En el ítem 5 relativo a la síntesis del NO se incluía la variación de entalpía del proceso y tenían que explicar en el nivel submicroscópico el carácter exotérmico o endotérmico con el fin de ver cómo razonaban mediante el uso de las entalpías de enlace en reactivos y productos.

El diseño se aplicó a dos grupos A y B con 18 y 17 estudiantes universitarios matriculados, respectivamente, en la asignatura optativa de Didáctica de las Ciencias durante los cursos académicos 2004-2005 y 2005-2006. Casi todos ellos (33) estaban matriculados en el último año de su carrera y el resto en el penúltimo. En la muestra hubo en total 11 estudiantes de Física, 12 de Química y 12 de Ingeniería Química. En cada uno de los ítems se categorizarían todas las respuestas explicativas de cada grupo y, si no eran muy diferentes, se darían los porcentajes globales ($N = 35$) de respuestas correctas o casi correctas y de los distintos razonamientos usados en las incorrectas. Estas categorizaciones de las respuestas

fueron realizadas separadamente por dos investigadores teniendo en cuenta los criterios de evaluación que se acordaron en cada ítem. En el caso de que hubiera disensión en las categorizaciones de los dos investigadores se utilizaría el coeficiente r de Spearman. Además, se planificó que una vez cumplimentados los cuestionarios, los propios estudiantes hicieran una autoevaluación de sus dificultades después de debatir en clase las posibles soluciones macroscópicas y submicroscópicas correctas de cada ítem. Para ello, finalizados los debates, se procedería a distribuir entre los estudiantes sus respectivos exámenes sin corregir y se les sugeriría que rehicieran sus respuestas y reflexionaran sobre las dificultades que habían tenido en cada ítem (Yerushaldi *et al.*, 2012). Se consensuó que cada estudiante devolviera al cabo de una semana sus reflexiones escritas al profesor, que era uno de los investigadores (anexo 3).

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los ítems de Q_1 y Q_2 con los porcentajes de las respuestas consideradas correctas y los de las diferentes subcategorías encontradas en las incorrectas. Para el análisis se tendrán en cuenta, en particular, las posibles dificultades presentadas en las respuestas incorrectas tanto si utilizan el nivel de representación macroscópico como el submicroscópico.

Resultados obtenidos en el cuestionario Q_1 para explicar dos procesos físicos adiabáticos

Resultados en el ítem 1 de Q_1 sobre el efecto térmico en la expansión de un gas

Se considera como correcta aquella respuesta predictiva de que la T del gas disminuirá siempre que la explicación se base en la aplicación explícita o implícita del primer principio de la termodinámica (exp. 1.1). En la tabla 1 se exponen las frecuencias en cada categoría y subcategorías explicativas en cada grupo en el ítem 1, así como los porcentajes totales encontrados en la muestra de estudiantes ($N = 35$).

Tabla 1.
Frecuencias de respuestas explicativas en cada grupo
y porcentajes totales de los profesores de Física y Química en formación ($N = 35$) en el ítem 1

Categoría y subcategorías de respuestas explicativas	Grupo A ($N = 18$)	Grupo B ($N = 17$)	Porcentaje % ($N = 35$)
* Correctas y casi correctas (exp.1.1)	2	2	11,4
* Incorrectas (exp. 1.2)	16	14	85,7
– Aplican la ecuación de gases (exp.1.2.1)	9	6	37,1
– Reduccionismo submicroscópico (exp.1.2.2)	4	4	28,6
– Errores conceptuales (exp.1.2.3)	2	3	14,3
* En blanco	–	1	2,9

El porcentaje de respuestas correctas y casi correctas encontradas en el ítem 1 es del 11,4 %. De las 4 respuestas válidas se presentan la de los estudiantes n.º 6 (correcta) y 13 (casi correcta):

Est. n.º 6: «Al expansionarse el gas, este hace un trabajo de expansión. Para realizar este trabajo es necesario que el gas adquiera energía. Debido a que es un sistema adiabático, la única fuente de energía es la propia energía interna del gas. Por tanto, al expandirse disminuirá su temperatura. Ejemplo: las pastillas de CO_2 sólido se fabrican al abrir una bombona de gas y dejar que este se expandiese».

Est. n.º 13: «Como el gas hace un trabajo, desprenderá calor y el del gas disminuirá».

La respuesta del est. n.º 6 es bastante completa porque se aplica implícitamente la primera ley de la termodinámica, pues cita que el «sistema» (se supone que quiere decir «proceso») es adiabático y que el gas hace trabajo y para ello ha de «adquirir energía» (se interpreta «que necesita energía»). La respuesta del est. n.º 13 se ha valorado como casi correcta pues indica que el gas hace un trabajo y lo relaciona con su enfriamiento, si bien aparece la idea de energía interna como contenido calorífico ya que afirma que «el gas... desprenderá calor» y por ello disminuye «el del gas» (Doménech *et al.*, 2013). En ninguna de las respuestas correctas o casi correctas se menciona el primer principio.

A continuación se presentan los resultados de las principales subcategorías de respuestas incorrectas.

Exp. 1.2.1. Más de un tercio de los estudiantes (37,4 %) concluye que la temperatura del gas disminuye justificándolo mediante el uso inadecuado de la ecuación de estado de los gases. A modo de ejemplo se cita la respuesta del est. n.º 27: « $PV/T = \text{cte} \rightarrow$ al aumentar $V \rightarrow T$ tiene que disminuir».

El est. n.º 27 seguramente sabe que la T del sistema ha de disminuir y lo justifica mediante un razonamiento macroscópico ya detectado en estudiantes norteamericanos de Física (Loverude *et al.*, 2001) donde también se recurre a la ecuación de estado de los gases ideales para relacionar T con V sin tener en cuenta P y suponiendo que el gas está aislado.

Exp. 1.2.2. El 28,6 % de la muestra dan explicaciones corpusculares erróneas tratando de justificar la disminución de T del gas con la pérdida de P o con el aumento de V ya que hay menos interacción entre las partículas. Estas explicaciones son razonamientos causales lineales similares a las exp. 1.2.1 pero en términos moleculares (Viennot, 1992). A modo de ejemplo se presenta la del est. n.º 8.

Est. n.º 8: «Disminuye la temperatura porque disminuye el número de choques entre las partículas al haber mayor volumen y el mismo número de partículas del gas».

En la respuesta del est. n.º 8 se presenta la idea alternativa de que la T del gas es debida a los choques entre sus partículas. Idea que puede interpretarse como una transferencia macroscópica inadecuada donde los choques entre partículas producen calor y mantienen la T . Por tanto, si los choques disminuyen, también lo hará la T del gas.

En resumen, se ha constatado que en este ítem 1 la mayoría de los estudiantes ($N = 20$) conocían que el gas se enfriaba aunque solo 4 han dado una explicación correcta o casi correcta. Respecto a si los estudiantes «saben los sistemas que interaccionan» hemos encontrado que en los 2/3 ($N = 24$) de las explicaciones del ítem 1 solamente se considera el gas como único sistema. Un razonamiento espontáneo frecuente ha sido utilizar la ley de los gases ideales para explicar que la temperatura del gas (único sistema considerado) baja o sube bien en el nivel macroscópico ($N = 15$) o en el nivel submicroscópico ($N = 8$). Solamente 6 de los 35 estudiantes explicitan en el ítem 1 que el proceso es adiabático. En las 3/4 partes ($N = 28$) de las explicaciones no se indica que el gas realiza trabajo contra el exterior (Nilsson y Niedderer, 2014). En muy pocas explicaciones ($N = 5$) de los estudiantes se ha utilizado el término *energía interna* –a veces con significado de ‘contenido de calor’– y en ninguna de las 35 se cita el primer principio de la termodinámica.

Resultados en el ítem 2 de Q_1 sobre lo que le ocurre a la temperatura del éter al evaporarse

En la tabla 2 se exponen los porcentajes totales en las categorías de esquemas explicativos encontrados en las respuestas al ítem 2.

Tabla 2.
Frecuencias de respuesta explicativas en cada grupo y porcentajes totales
en la muestra de profesores de Física y Química en formación (N = 35) en el ítem 2

Categoría y subcategorías de respuestas explicativas	Grupo A (N = 18)	Grupo B (N = 17)	Porcentaje % (N = 35)
* Correctas y casi correctas (exp. 2.1)	0	0	0
* Incorrectas (exp. 2.2)	16	14	85,7
– T cte. en el cambio de estado (exp. 2.2.1)	10	9	54,3
– La evaporación requiere calor... (exp. 2.2.2)	6	5	31,4
* En blanco e incodificables	2	3	14,3

No ha habido ninguna respuesta correcta o casi correcta en las 35 explicaciones dado que no se ha tenido en cuenta que es un proceso casi adiabático y tampoco la transferencia energética entre el interior y la superficie del líquido.

Las dos subcategorías de explicaciones incorrectas más utilizadas por los estudiantes son la exp. 2.2.1 y la exp. 2.2.2 siguientes:

Exp. 2.2.1. La mitad de los estudiantes (54,3 %) razonan macroscópicamente basándose en que durante el cambio de estado del éter la T del líquido es la misma, como sucede habitualmente en una ebullición a presión constante. Esta fijación funcional donde la evaporación se confunde con una ebullición a T constante es la única solución encontrada por estos estudiantes (Furió *et al.*, 2000). Una respuesta prototípica es la del est. n.º 32.

Est. n.º 32: «Lo que se está produciendo en la cápsula será la evaporación del éter líquido, por tanto, lo que se mediría en el termómetro sería la temperatura de ebullición del éter que permanece constante durante toda la ebullición, y después alcanzará la temperatura ambiental una vez finalice la ebullición».

Exp. 2.2.2. Casi un tercio de los estudiantes (31,4 %) presentan otro tipo de fijación funcional donde la evaporación del líquido únicamente se puede realizar con un aporte externo de calor que se ha de obtener de otro sistema o proceso, como sucede en la respuesta del est. n.º 6:

Est. n.º 6: «El éter está a una temperatura inferior a la del ambiente ya que es líquido y, por ello, se calienta. Y finalmente se evapora».

En resumen, en el ítem 2 se constata que solamente 3 estudiantes de los 35 conocen que el líquido disminuye su temperatura, si bien sus explicaciones son incorrectas. En ninguna de las respuestas se hace mención explícita a las partes del sistema que interaccionan, no se cita la idea de energía interna del sistema como posible fuente de energía, ni tampoco la primera ley. No ha habido ninguna respuesta submicroscópica para explicar el fenómeno.

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL CUESTIONARIO Q₂ PARA EXPLICAR EL CARÁCTER EXOTÉRMICO O ENDOTÉRMICO DE PROCESOS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Resultados en el ítem 3 de Q₂ sobre la comparación cualitativa de las entalpías de formación del vapor de agua y del agua líquida

En las respuestas prescriptivas al ítem 3 se constató que solamente 8 estudiantes optaron por indicar que H_g es mayor que H_l , 10 que era menor y 13 que eran iguales. En la tabla 3 se dan los porcentajes de las categorías y subcategorías de explicaciones dadas por los estudiantes (N = 35) al ítem 3 y se observa que solamente 4 (11,4 %) dieron respuestas explicativas correctas o casi correctas, como la del est. n.º 20.

Tabla 3.
Frecuencias de respuestas explicativas en cada grupo y porcentajes totales
en la muestra de profesores de Física y Química en formación (N = 35) en el ítem 3

Categoría y subcategorías de respuestas explicativas	Grupo A (N = 18)	Grupo B (N = 17)	Porcentaje % (N = 35)
* Correctas y casi correctas (exp. 3.1)	2	2	11,4
* Incorrectas (exp. 3.2)	14	12	74,3
– H depende del tipo de sustancia (exp. 3.2.1)	2	4	17,1
– H depende de la temperatura (exp. 3.2.2).	4	2	17,1
– H depende de los enlaces (exp. 3.2.3)	5	4	25,7
– Confusión entalpía-entropía (exp. 3.2.4)	3	2	14,3
* En blanco e incodificables	2	3	14,3

Est. n.º 20: «La entalpía de formación del líquido es menor que la del gas, por eso a T constante el gas se transforma en líquido. Si pasa de gas a líquido a la misma T (no se necesita suministrarle calor) es una reacción exotérmica, por lo que $\Delta H < 0$. O sea, por ser exotérmica $\Delta H_f(g) > \Delta H_f(l)$ ».

La respuesta del est. n.º 20 se ha considerado como casi correcta aunque se interprete erróneamente que la espontaneidad del proceso se deba a su carácter exotérmico.

Exp. 3.2.1 y 3.2.2. En un tercio de los estudiantes se presentan dos tipos de reduccionismos funcionales (Furió *et al.*, 2000) al concluir que las entalpías del gas y del líquido son iguales y solo dependen del tipo de sustancia (exp. 3.2.1) o de T (exp. 3.2.2). Un ejemplo de estos reduccionismos funcionales es el que se presenta en la respuesta del est. n.º 12.

Est. n.º 12: «La entalpía del sistema solo depende del tipo de sustancia y no del estado de la sustancia».

Exp. 3.2.3. La cuarta parte de la muestra (25,7 %) presentan ejemplos de fijaciones funcionales en el nivel submicroscópico, donde las entalpías del líquido y del gas se atribuyen a la fuerza o la energía de los enlaces sin ninguna justificación, como, por ejemplo, en el est. n.º 18.

Est. n.º 18: «Los enlaces en el gas son más fuertes que en el líquido y por eso la entalpía del gas es mayor que la del líquido».

Este estudiante responde sin saber que entre las moléculas del gas no hay enlaces, a no ser que atribuya erróneamente la mayor fuerza a los enlaces interatómicos de las moléculas del gas.

En resumen, en este ítem 3 se ha constatado que prácticamente la mitad de los estudiantes dan respuestas macroscópicas incorrectas al no saber que la entalpía de formación de una sustancia depende también del estado físico y que la condensación del gas es un proceso exotérmico. Una cuarta parte de la muestra ha utilizado razonamientos submicroscópicos incorrectos al relacionar la fuerza de los enlaces en las moléculas con la entalpía de formación sin ninguna justificación (Nilsson y Niedderer, 2014).

Resultados en el ítem 4 de Q₂, cuyo objetivo es explicar si la neutralización del HCl y NaOH es un proceso exotérmico o endotérmico

En la tabla 4 se presentan los porcentajes de las diferentes respuestas encontradas en el ítem 4.

Tabla 4.
Frecuencias de respuestas explicativas en cada grupo y porcentajes totales
en la muestra de profesores de Física y Química en formación (N = 35) en el ítem 4

Categorías y subcategorías de respuestas explicativas	Grupo A (N = 18)	Grupo B (N = 17)	Porcentaje % (N = 35)
* Correctas y casi correctas (exp. 4.1.1)	4	3	20,0
* Insuficientes e incorrectas (exp. 4.2)	12	12	68,6
– Descriptivas sin explicación (exp. 4.2.1)	5	7	34,3
– Explicaciones basada en afinidad (exp. 4.2.2)	3	2	14,3
– Endotérmica (recibe calor) (exp. 4.2.3)	4	3	20,0
* En blanco e incodificables	2	2	11,4

Exp. 4.1.1. El 20 % de la muestra da respuestas correctas o casi correctas basándose en el argumento macroscópico, según el cual la entalpía atribuida al conjunto de los reactivos es más elevada que la correspondiente a la de los productos (est. n.º 8).

Est. n.º 8: «Si se observa un aumento de temperatura es porque se desprende energía, por tanto decimos que es una reacción exotérmica. La reacción que ocurre es: $\text{NaOH (s)} + \text{HCl (l)} \rightarrow \text{NaCl (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)}$ $\Delta H < 0$. La energía de disociación del NaOH más la del HCl es menor que la energía que se desprende en la formación del NaCl y el H_2O ».

Las 2/3 partes de la muestra (68,6 %) corresponden a la categoría con respuestas no válidas (exp. 4.2), que hemos dividido en varias subcategorías: la de las respuestas insuficientes por ser válidas solo en la prescripción (exp. 4.2.1), las explicativas incorrectas porque atribuyen la espontaneidad de la reacción a la afinidad de los reactivos (exp. 4.2.2) y las erróneas en prescripción y explicación (exp. 4.2.3).

Exp. 4.2.1. Hay 12 (34,3 %) respuestas explicativas que se han considerado incompletas pues describen el efecto térmico («aumenta la temperatura» y/o «se desprende energía o calor») para justificar el carácter exotérmico de la reacción y no dan una respuesta explicativa de tipo macro o submicroscópico como la del est. n.º 6.

Est. n.º 6: «Si se observa un aumento de la temperatura es porque la reacción desprende energía en forma de calor y, por tanto, es exotérmica».

Exp. 4.2.2. Cinco estudiantes (14,3 %) consideran que el desprendimiento de calor es la causa de que la reacción sea espontánea y ello se debe a la afinidad o fuerza de los reactivos. Un ejemplo es la respuesta del est. n.º 13.

Est. n.º 13: «Será exotérmica porque se desprende calor. Se produce calor porque el NaOH es una base fuerte y el HCl un ácido fuerte, por ello la reacción entre los dos es violenta y muy energética».

La respuesta del est. n.º 13 junto a otras encontradas en esta subcategoría son frecuentes en estudiantes de Química y recuerdan la hipótesis asumida por los químicos de mitad del siglo XIX según la cual la causa de las reacciones químicas era la afinidad de los reactivos. Reactividad que se caracterizaba por su carácter exotérmico pero no explicaba las reacciones endotérmicas.

Exp. 4.2.3. Siete estudiantes de Física (20 %) afirman que la reacción es endotérmica porque aumenta la temperatura y ello se debe a que el sistema ha de recibir calor de otro sistema que no se indica o que se explica con un razonamiento submicroscópico simple (ruptura de enlaces en los reactivos o formación de enlaces en los productos) como el del est. n.º 10.

Est. n.º 10: «Como hemos de romper enlaces y se quedan iones en la disolución necesitamos energía, por lo que es endotérmica y se manifiesta con un aumento de T, los iones están libres y con mayor energía».

En la respuesta del est. n.º 10 se afirma que la reacción es endotérmica porque «hay que aportar energía para romper los enlaces» (de las moléculas del HCl y del NaOH) quedando al final los iones libres

con mayor energía y por ello aumenta la temperatura del sistema (Furió-Gómez, 2009). Como vemos este estudiante no sabe que en sus respectivas disoluciones el ácido y la base fuertes están completamente disociados y, por otra parte, no tiene en cuenta que en el proceso se han de formar nuevos enlaces.

En resumen, en los resultados encontrados en este ítem 4 solamente el 20% de la muestra ha dado respuestas macroscópicas correctas al suponer que el nivel energético de los productos es menor que el de los reactivos. El 34 % de la muestra solo reconoce que es exotérmica por el calentamiento en el proceso pero sin dar ninguna explicación termoquímica. Llama la atención que no haya habido ninguna respuesta de nivel submicroscópico correcta, lo que es indicativo de que existen serias dificultades en la explicación basada en el balance entálpico o energético de ruptura y formación de enlaces en esta sencilla reacción a pesar de que los 2/3 de la muestra son estudiantes universitarios de Química o de Ingeniería Química.

Resultados en el ítem 5 de Q₂ cuyo objetivo es reconocer si la síntesis del NO es exotérmica o endotérmica y explicar en el nivel submicroscópico por qué

En la tabla 5 se presentan los porcentajes de las diferentes categorías y subcategorías de respuestas que se han encontrado en la muestra.

Tabla 5.
Frecuencias de respuesta explicativas en cada grupo y porcentajes totales
en la muestra de profesores de Física y Química en formación (N = 35) en el ítem 5

Categorías y subcategorías de respuestas explicativas	Grupo A (N = 18)	Grupo B (N = 17)	Porcentaje % (N = 35)
* Correctas y casi correctas (exp. 5.1)	1	2	8,6
* Insuficientes e incorrectas (exp. 5.2)	14	14	80,0
– Mixta submicro-macroscópica (exp. 5.2.1)	1	3	11,4
– Solamente prescriptiva (exp. 5.2.2)	5	3	22,9
– Prescriptiva incorrecta (exp. 5.2.3)	7	6	37,1
– Explicativa errónea (exp. 5.2.4)	1	2	8,6
* En blanco e incodificables	3	1	11,3

En la categoría exp. 5.1 ha habido 3 (8,6 %) respuestas que han dado explicaciones correctas o casi correctas a pesar de que más de la mitad (N = 20) de la muestra han indicado que la reacción es endotérmica. A continuación se presenta un ejemplo de respuesta correcta.

Est. n.º 6: «Por convenio, las reacciones exotérmicas tienen un $\Delta H < 0$, por tanto esta reacción es endotérmica. Submicroscópicamente, para formarse el enlace de la molécula de NO se han de romper antes un enlace triple ($N \equiv N$) y un enlace doble ($O=O$), lo que supone que le hemos de aportar al sistema una energía que se gastará para romper estos enlaces. Después, al formar el nuevo producto, se desprende energía al formar los enlaces de la molécula, el balance energético nos muestra que le damos más energía al sistema para romper enlaces que la que nos da el sistema para formarlos, por tanto el proceso global es endotérmico».

En la subcategoría exp. 5.2 ha habido un 80 % de respuestas incompletas o incorrectas y se han clasificado en cuatro tipos de subcategorías. En la exp. 5.2.1 (11,4 %) se incluyen aquellas respuestas como la del est. n.º 8, que inician un razonamiento submicroscópico al considerar la ruptura de los enlaces en los reactivos y continúan mezclándolo con otro macroscópico en el que asocian el ΔH del proceso a «la energía necesaria para formar el enlace en el NO» (Nilsson y Niedderer, 2014).

Est. n.º 8: «El proceso es endotérmico. $\Delta H > 0$. Los enlaces $N \equiv N$ y $O=O$ son muy estables y se necesita mucho aporte energético para romperlos. La entalpía de formación de una molécula diatómica

formada por dos átomos iguales es 0. Como la formación del enlace N-O necesita un aporte energético de 544 kJ/mol, la entalpía del sistema aumenta: $\Delta H_f = \sum \Delta H_p - \sum \Delta H_r : \sum \Delta H_p = \frac{1088}{2} = 544$ y $\sum \Delta H_r = 0 + 0$ ».

En la exp. 5.2.2 se incluyen las respuestas que solamente usan el signo de ΔH para clasificar el proceso como endotérmico (Granville, 1985) pero sin explicación submicroscópica (22,9 %) como la del est. n.º 18.

Est. n.º 18: «El proceso es endotérmico, pues $\Delta H > 0$, por lo tanto se necesita un aporte energético en forma de calor para que tenga lugar la reacción. Un proceso exotérmico es aquel que desprende calor».

En la exp. 5.2.3 están las respuestas incorrectas más frecuentes (37,1 %) ya que se equivocan en el convenio de signos y en las explicaciones submicroscópicas como la del est. n.º 2. Este estudiante afirma sin fundamento que dos elementos han de reaccionar necesariamente y esta es la causa de que se produzca la reacción que cataloga como exotérmica.

Est. n.º 2: «Proceso exotérmico ya que la ΔH es positiva, lo que quiere decir que cuando tiene lugar la reacción se desprende calor. Dos elementos, al unirse, tienen tendencia a reaccionar sin necesidad de un agente externo, por lo que la reacción es instantánea y exotérmica, no necesita aporte de calor para que las partículas se exciten y reaccionen».

Ejemplo de autoevaluación de las dificultades presentada por el est. n.º 25 al reflexionar sobre sus respuestas a los ítems de Q_1 y Q_2

En el cuadro 2 se presenta un ejemplo de autoevaluación del estudiante n.º 25 de último año de la licenciatura de Físicas después de una sesión de debate sobre las soluciones correctas de cada ítem.

Cuadro 2.
La práctica de la autoevaluación en el est. n.º 25

«Antes de particularizar problema a problema, desde un punto más global me gustaría decir que me ha sido muy valioso analizar cada uno de los problemas no solo desde un punto de vista macroscópico sino también desde un punto de vista submicroscópico, nos deja las cosas un poco más claras.

En el primer problema que aborda la descompresión de un gas tenía claro desde un principio la disminución de la temperatura. Con este ejercicio he aprendido a explicar este fenómeno como lo que es, un proceso adiabático en el que aumenta el volumen de un gas muy rápidamente al ser la presión exterior menor que la interior. Identificar el tipo de proceso es muy importante.

En el segundo problema, que afronta el caso en el que el éter líquido se evapora a temperatura ambiente, he superado la idea de que el líquido aumentaba de temperatura (su respuesta es de la subcategoría exp. 2.2.2). Ahora entiendo que para que el líquido que está a temperatura ambiente se evapore necesita energía y el único sitio de donde la puede sacar es de sí mismo, de su energía interna, dando lugar a un descenso de temperatura. He aprendido que la energía interna pertenece al sistema. Y este razonamiento lo complemento con otro submicroscópico al citar cómo las partículas de mayor velocidad se escapan con mayor facilidad, quedando en la superficie del líquido las más lentas, las que tienen enlaces intermoleculares más fuertes y por tanto son más “frías”.

En el tercer problema he podido aprender para qué procesos es necesario aportar energía y para cuáles liberarla (contestó que H_6 es igual que H_1 con una exp. 3.2.1). A nivel submicroscópico también he aprendido cómo afecta la destrucción y creación de enlaces en el balance energético. En este caso lo hemos visto para cambios de fase, procesos que por su aparente simpleza nos dejan aprender con mayor facilidad la dirección que toma un proceso. Este problema demuestra también la utilidad de la entalpía de formación para evaluar las transformaciones.

En el cuarto problema no he podido superar las dificultades puesto que no recuerdo cómo reaccionan un ácido y una base desde un punto de vista submicroscópico. Este desconocimiento me hace imposible abordar el problema con claridad suficiente. Puedo entender el balance de energía y que el proceso sea endotérmico o exotérmico dependiendo de si se rompen enlaces o se crean, pero necesito repasar la química.

En el quinto problema queda claro, ahora, que el proceso es endotérmico, ya que el balance entre enlaces formados y enlaces rotos hace que ΔH sea positivo, pero no pude justificarlo de forma cualitativa por desconocimiento del tipo de enlaces químicos en cada molécula».

En el primer párrafo de esta estudiante se resalta la influencia positiva del uso de las representaciones submicroscópicas en su comprensión de estos fenómenos. Al analizar su segundo párrafo, dedicado al ítem 1, se puede observar la importancia dada por la estudiante al conocimiento del tipo de proceso (adiabático) y destaca en su reflexión que ya sabía que se enfriaba el gas pero desconocía su explicación. En su valoración sigue sin hacer referencia a la realización de trabajo por el gas sobre el entorno ni a la disminución de su energía interna. Estos olvidos en este tipo de ejercicios han sido detectados en algún artículo con estudiantes universitarios de Física (Loverude *et al.*, 2001). En el tercer párrafo, sobre la respuesta al ítem 2, declara que ha superado el error conceptual que tenía según el cual «para evaporarse el líquido necesariamente había de aumentar su temperatura» y, además, esta explicación macroscópica la complementa con otra submicroscópica. La estudiante, al evaluar el tercer problema, declara en este caso que ha aprendido a interpretar los procesos con el intercambio de energía y, en particular, a utilizar el nivel de representación submicroscópica para explicar, en general, cómo afectan la ruptura y formación de enlaces al balance energético de un proceso. A pesar de ello, la propia estudiante manifiesta sinceramente que no ha podido mejorar las respuestas de los ítems 4 y 5 debido a su falta de conocimientos de química sobre los enlaces que se rompen y se forman en la neutralización y en la síntesis de NO. También esta respuesta la hemos encontrado en otros estudiantes de Física indicando que en su plan de estudios apenas estudian temas de Química.

En el cuadro 3 se presentan ejemplos de valoraciones de algunos estudiantes extraídas de sus autoevaluaciones.

Cuadro 3.

Ejemplos de respuestas dadas por tres estudiantes a ítems en el pretest y sus posteriores valoraciones

Ítem n.º	Explicación	Valoración del estudiante
1	Est. n.º 4: «Como según la ley de los gases: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$, si n es constante, al aumentar el volumen disminuye la presión quedando la T constante».	Autoevaluación del est. n.º 4: «He aprendido que el gas no está aislado energéticamente y que su T no es constante sino que baja al expandirse rápidamente. No me he dado cuenta de que en la expansión el gas realiza trabajo sobre el exterior y, por tanto, no se puede aplicar la ley de los gases ideales».
4	Est. n.º 23: «La reacción es exotérmica. Los productos de la neutralización son más estables, más bajos en energía que los reactivos. Por tanto (el sistema), desprende energía en forma de calor. Por tanto, ΔH de la reacción será positivo».	Autoevaluación de est. n.º 23: «Para resolver correctamente las cuestiones 3, 4 y 5 se ha de ver ΔH desde un punto de vista submicroscópico y relacionarla con el balance de energía por la ruptura/formación de enlaces a T constante. Además, se ha de conocer el significado de los términos reacción endo/exotérmica, lo que yo no tenía demasiado claro. Yo sí que relacioné la ΔH con la diferencia de estabilidad de los enlaces rotos/formados (si se forma un enlace más estable que el que se ha roto, será más bajo en energía, por tanto se desprenderá energía y al revés). No obstante, no lo debía de tener muy claro porque lo apliqué malamente. Creo que ahora lo tengo claro: se ha de pensar que romper enlaces requiere energía y al formarlos se desprende. Es más fácil así».
5	Est. n.º 29: «El proceso es endotérmico, porque $\Delta H > 0$ quiere decir que el proceso necesita un aporte de calor para la formación del NO».	Autoevaluación del est. n.º 29: «Tanto en las preguntas 4 y 5 creo que me ha quedado claro, sobre todo a nivel submicroscópico, lo que ocurre en la reacción. Tal vez porque ya tengo una base en química y, por eso, solo ha sido un recordatorio de lo que ya sabía. Para afianzar conceptos como exotérmico, endotérmico, fuerzas de enlace, etc.».

Al analizar la respuesta del est. n.º 4 (de Química) sobre el ítem 1 se observa cómo cambia la respuesta descriptiva (pasa de afirmar que la T es constante a que T disminuye) y, a pesar de que ha tenido en cuenta la interacción mecánica del sistema con el medio exterior, sigue sin mencionar la

transferencia de energía interna ni la primera ley. Es una respuesta similar a la del est. n.º 25 (cuadro 2). El análisis del caso de la est. n.º 23 (de Física) en su respuesta al ítem 4 es interesante, pues inicia su razonamiento de tipo submicroscópico bastante correcto pero llega a una conclusión equivocada, como admite la alumna en su autoevaluación. A pesar de ello, la estudiante comenta que el uso de la explicación de nivel submicroscópico le facilita la comprensión («lo tiene más claro») y que romper enlaces requiere energía y al formarlos se desprende energía (Barlet y Mastrot, 2000). En el caso de las respuestas del est. n.º 29 (de Química) al ítem 5 ha dado una respuesta macroscópica insuficiente –subcategoría exp. 5.2.2– puesto que no la ha justificado en el nivel submicroscópico como solicitaba el enunciado del ítem 5. No obstante, el estudiante ha valorado también que el uso del nivel submicroscópico en las cuestiones 4 y 5 le ha servido para recordar y afianzar conceptos adquiridos en su carrera de Química.

CONCLUSIONES, IMPLICACIONES Y PERSPECTIVAS

Los resultados encontrados en este trabajo muestran que, en el contexto de la termoquímica, los profesores de Física y Química en formación encuestados tienen dificultades conceptuales y epistemológicas a la hora de utilizar conceptos y principios como la energía interna y la entalpía, así como la primera ley de la termodinámica, para explicar fenómenos térmicos. Las dificultades que hemos encontrado en las respuestas de los futuros profesores son las siguientes: *a*) tienen dificultades para delimitar cuáles son los sistemas o subsistemas que interactúan en procesos físicos. Por ejemplo, en el caso de la expansión adiabática del gas (ítem 1) aparecen causalismos inadecuados basados en la ley de los gases perfectos y en la evaporación del éter (ítem 2), así como fijaciones funcionales cuando indican, por ejemplo, que la temperatura del líquido no varía porque suponen que está hirviendo; *b*) en la mayoría de las respuestas de los ítems de Q_1 no se expresa que se realiza trabajo por el gas contra el ambiente ni tampoco se usa la energía interna del sistema; *c*) en ninguna respuesta de los ítems 1 y 2 se menciona el primer principio de la termodinámica; *d*) también se presentan fijaciones funcionales en las respuestas al ítem 3 de Q_2 cuando indican que la entalpía de formación de una sustancia depende solo de la temperatura o de la sustancia; *e*) es importante destacar que en los ítems 4 y 5 relativos a las explicaciones de los dos procesos químicos hemos encontrado en estudiantes de Física o de Química razonamientos del tipo «la ruptura de enlaces en los reactivos produce energía o calor» y «la formación de enlaces requiere un aporte exterior de energía o calor»; *f*) la mayoría de estos estudiantes conocían que la neutralización entre HCl y NaOH era un proceso exotérmico pero en ninguna respuesta se citaba qué enlaces se rompían y cuáles se formaban en el proceso; *g*) en el caso de la síntesis del NO se destaca que la mayoría de las respuestas incorrectas (37 %) indica que el proceso es exotérmico; *h*) pero algunos que sabían que era endotérmico dieron una explicación incorrecta mezclando los niveles submicroscópico y macroscópico (Nilsson y Niedderer, 2014). En conclusión, los resultados encontrados indican que la muestra de profesores de Física y Química en formación apenas utiliza correctamente el modelo termodinámico macroscópico y, sobre todo, tienen muchas dificultades en el nivel submicroscópico para explicar energéticamente los procesos físicos y químicos. Por otra parte, las valoraciones de los estudiantes de sus propios exámenes confirman estas dificultades y, en general, resaltan la importancia que ha tenido para ellos el uso de los razonamientos de nivel submicroscópico.

La principal implicación de este trabajo es la necesidad de mejorar la formación inicial de estos futuros profesores de Física y Química y para ello es importante que, en primer lugar, acaben sus grados con un buen conocimiento conceptual y epistemológico del contenido de Física y de Química que han de enseñar en la educación secundaria y en el bachillerato. Si los resultados de la investigación en didáctica de las ciencias sobre la formación del profesor han mostrado que la primera competencia

profesional docente es la de saber la disciplina (Tobin y Espinet, 1989), es evidente que se han de mejorar los conocimientos científicos de estos graduados. En la actualidad se ha reglamentado el Máster de Formación del Profesorado de Secundaria que se imparte en la Universidad española. Y aunque ello ha supuesto un avance notable respecto al CAP habrá que experimentar y subsanar lo que no funcione. Por ejemplo, en el caso de la formación inicial de los profesores de Física y Química se puede utilizar el bloque de complementos disciplinares del Máster para mejorar los conocimientos de Química, sobre todo, de los graduados en Física. Pero tanto en los físicos como en los químicos que deseen ser profesores de Física y Química será importante que conozcan bien la modelización termodinámica macroscópica para explicar fenómenos térmicos y que también sepan complementarla con la modelización atómica, ya que así aumentará la comprensión científica de sus estudiantes. En esta formación inicial será también importante implicar a los futuros profesores no solo en el conocimiento de la disciplina, sino también en cómo enseñarla. Convendrá introducirlos poco a poco en investigaciones de diseño donde se planteen cómo seleccionar y organizar estos contenidos en un nivel educativo dado, saber qué dificultades se pueden presentar en el aprendizaje, qué estrategias instructivas emplear, cómo llevarlas a la acción y cómo evaluar si se logran los objetivos perseguidos. En este último sentido otra implicación que se deriva del trabajo es la necesidad de integrar la evaluación en la enseñanza y una forma puede ser aprovechar los exámenes para mejorar el aprendizaje (Yerushaldi *et al.*, 2012). Además, estos futuros profesores han de experimentar en su formación innovaciones metodológicas aconsejadas por la didáctica de las ciencias que puedan emplear en sus primeras prácticas docentes. A este respecto, una perspectiva futura de este trabajo consistirá en mostrar cómo diseñar, implementar y evaluar secuencias de enseñanza de orientación socioconstructivista sobre temas complejos de física y química como el de energía y procesos físico-químicos para que los futuros profesores puedan mejorar sus propios conocimientos conceptuales y procedimentales.

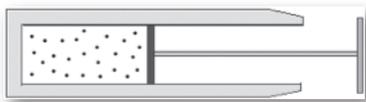
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALIC, F. (2012). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22 (9), 2087-2107.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- ABELL, S.K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. En S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, pp. 1105-1149. N.Y.: Routledge.
- ATKINS, P.W. (1992). *La segunda ley*. Barcelona: Prensa Científica, S.A.
- BARLET, R. y MASTROT, G. (2000). L'algorithme de la conceptualisation. L'exemple de la thermochimie en premier cycle universitaire. *Didaskalia*, 17, 123-159.
- BAUMAN, R.P. (1992). Physics that textbook writers usually get wrong. II Heat and energy. *The Physics Teacher*, 30, 353-356.
<http://dx.doi.org/10.1119/1.2343538>
<http://dx.doi.org/10.1119/1.2343574>
- CHANG, R. (1992). *Química* (4.ª Edición). México: McGraw-Hill.
- COHEN, L., MANION, L. y MORRISON, K. (2008). *Research Methods in Education* (Sixth edition). N.Y.: Routledge.
- DE JONG, O. (2000). How to teach the concept of heat of reaction: a study of prospective teacher initial ideas. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (1), 91-96.
<http://dx.doi.org/10.1039/a9rp90009h>

- DOMÉNECH, J.L., LIMINANA, R. y MENARQUES, A. (2013). La superficialidad en la enseñanza del concepto de energía: una causa del limitado aprendizaje alcanzado por los estudiantes de Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (3), 103-119.
- FURIÓ, C., CALATAYUD, M.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.
[http://dx.doi.org/10.1002/1098-237X\(200009\)84:5<545::AID-SCE1>3.0.CO;2-1](http://dx.doi.org/10.1002/1098-237X(200009)84:5<545::AID-SCE1>3.0.CO;2-1)
- FURIÓ, C., SOLBES, J., FURIÓ, C. (2007). La historia del primer principio de la Termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien.*, 4 (3), 460-474.
- FURIÓ-GÓMEZ, C. (2009). *L'ensenyament-aprenentatge de la Termoquímica. Anàlisi crítica i proposta de millora*. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València: Servei de Publicacions.
- GRANVILLE, M.F. (1985). Student misconceptions in Thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, 62, 847-848.
<http://dx.doi.org/10.1021/ed062p847>
- LOVERUDE, M.E., KAUTZ, C.H. y HERON, P.R.L. (2001). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 70 (2), 137-148.
<http://dx.doi.org/10.1119/1.1417532>
- NILSSON, T. y NIEDDERER, H. (2014). Undergraduate students conceptions of enthalpy, enthalpy change and related concepts. *Chemical Education Research and Practice*, 15, 336-353.
<http://dx.doi.org/10.1039/C2RP20135F>
- PRILLIMAN, S.G. (2014). Integrating particulate representations into AP Chemistry and introductory chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, 91 (9), 1291-1298.
<http://dx.doi.org/10.1021/ed5000197>
- SHULMAN, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4-14.
<http://dx.doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- TOBIN, K.G. y ESPINET M. (1989). Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 105-120.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660260203>
- TREAGUST, D.F., CHITTLEBOROUGH, G. y MAMIALA, T.L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1353-1368.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069032000070306>
- VIENNOT, L. (1992). Raisonement à plusieurs variables: tendances de la pensée commune. *Aster*, 14, 127-141.
<http://dx.doi.org/10.4267/2042/9088>
- YERUSHALDI, E., COHEN, E., MASON, A. y SINGH, C. (2012). What do students do when asked to diagnose their mistakes? Does it help them? An atypical quiz context. *Physics Education Research*, 8 (2), 201-209.

ANEXO 1.
CUESTIONARIO Q₁ SOBRE TERMODINÁMICA APLICADO
A PROFESORES DE FÍSICA Y QUÍMICA EN FORMACIÓN (N = 35)

1. El dibujo adjunto presenta una jeringa aislada térmicamente del ambiente que contiene un gas ideal a presión mayor que la atmosférica. ¿Qué le pasará a la temperatura del gas cuando se expanda?



- a) Disminuye la temperatura.
- b) Se mantiene la temperatura.
- c) Aumenta la temperatura.
- d) No lo sé.

Justifica detalladamente el porqué de la respuesta.

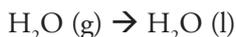
2. Si en una cápsula de porcelana ponemos éter líquido a temperatura ambiente podemos comprobar que al evaporarse rápidamente varía la temperatura del líquido. Indica si:

- a) Disminuye la temperatura.
- b) Se mantiene la temperatura.
- c) Aumenta la temperatura.
- d) No lo sé.

Explica con detalle tu respuesta.

ANEXO 2.
CUESTIONARIO Q₂ SOBRE TERMOQUÍMICA APLICADO
A PROFESORES DE FÍSICA Y QUÍMICA EN FORMACIÓN (N= 35)

3. Consideremos la transformación de un gas en líquido a la misma temperatura y presión:



¿Qué estado de la sustancia tendrá una mayor entalpía?

- a) La entalpía del gas es mayor.
- b) La entalpía del líquido es mayor.
- c) Las entalpías del líquido y del gas son iguales.
- d) No lo sé

Argumenta razonadamente tu respuesta

4. Al neutralizar una disolución de NaOH con otra de ClH, en el líquido resultante se observa un aumento de temperatura. Indica si la reacción es exotérmica o endotérmica y explica con detalle cómo es que se produce este efecto térmico.

5. La variación de entalpía en la reacción de formación del monóxido de nitrógeno viene expresada en la siguiente ecuación: $\text{N}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{NO} (\text{g}); \Delta H^\circ = 1088.1 \text{ kJ}$.

Indica si el proceso es exotérmico o endotérmico y explica submicroscópicamente cómo es que aumenta la entalpía del sistema al formarse el monóxido de nitrógeno.

ANEXO 3.
LA PRÁCTICA DE LA AUTOEVALUACIÓN
DE DIFICULTADES CONCEPTUALES Y EPISTEMOLÓGICAS.

Lee detenidamente el examen que has hecho y haz un comentario donde se valoren cualitativamente las respuestas que has dado a los ítems de estos dos cuestionarios. En particular interesa saber qué dificultades has superado, cuáles siguen persistiendo y qué has aprendido. Trae tus comentarios escritos la próxima semana.

Conceptual and epistemological difficulties of future teachers of physics and chemistry in the energetic explanations of physical and chemical phenomena.

Cristina Furió Gómez, Carlos Furió Más

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

cristina.furio@uv.es, carles.furio@uv.es

This paper analyses the conceptual and epistemological difficulties observed in two groups of undergraduate students when they have to explain the thermal effects on some physical and chemical processes by grade 12 (17-18 years). These students, as future teachers of physics and chemistry, are attending the university subject of Science Teaching.

In the article, first, we explain what it means to have a proper understanding of the energy or enthalpy transfers between systems, requiring initially to know the difference between the concepts of heat, work, internal energy, and enthalpy, and then to associate them with the first law of thermodynamics and that a system's total energy is conserved. This relationship between concepts, as we shall see, to interpret the phenomena involves using either a macroscopic thermodynamic modelling, or a submicroscopic level. In this second level the energy can be modelled as either motions of particles or as stored in electric or magnetic fields that mediate interactions between atoms or molecules (chemical bonds).

Through a literature review on students' difficulties in this area, we try to establish the conceptual and epistemological skills that the students should acquire in order to successfully explain the energy transfers in physical and chemical processes. Based on these two aspects, a design with a pretest and a self-assessment of the responses of the students themselves was developed to detect the difficulties of the 35 undergraduate students of Chemistry, Physics and Chemical Engineering in the last year of their careers.

For the experimental design two questionnaires with open-ended questions were developed. The first one goes to see how they apply the first law of thermodynamics in two physical phenomena (adiabatic expansion of gas and quick evaporation of ether), and the second has three questions concerning the qualitative comparison of formation enthalpy of vapour and liquid water, explanation of enthalpy change in two chemical processes (neutralization of HCl and NaOH and synthesis of NO gas).

The percentage results for each item are presented, as well as the categorization of the various arguments used, and examples of different valuations of some students, drawn from their self-assessments.

The results found in this work show that teachers in training have difficulties to define which systems interact in the processes and also do not use, or seldom, the concepts of expansion work and internal energy of systems and the first law of thermodynamics. On the other hand the majority of these undergraduate students have serious difficulties using the submicroscopic level to explain these phenomena. Self-assessment, moreover, confirms these results. In this context, future teachers emphasize in their assessments the importance that has had for them using the arguments of submicroscopic level to explain energy balances, since that has increased understanding in the analysis and solution of such issues.