

Este artículo fue presentado en las III Jornadas Internacionales sobre Enseñanza Universitaria de la Química, llevadas a cabo del 28 de septiembre al 1 de octubre de 2003, en La Plata, República Argentina.

Cambio de energía libre y espontaneidad a través de las explicaciones de los estudiantes e integración de sus Ideas

*Adolfo Obaya Valdivia**

Abstract (*Free energy and spontaneity through students explanations and integration of their ideas*)

The effectiveness of intervention discussion sections was explored for a college physical chemistry course didactic strategy designed to apply research on student alternative conceptions, knowledge integration, and student exploration about bond energy and spontaneity. Two questionnaires, "Thermochemistry and Bond Energy" and "Gibbs Function" were applied. The student performance was compared with that of a control group that did not use the strategy applied.

Results indicate that this instruction, which identifies students initial conceptions and integrates those ideas into class discussion leads to enhanced conceptual understanding and their academic performance.

Introducción

Uno de los objetivos de la educación en ciencias es desarrollar formas efectivas de enseñar Ciencia a los estudiantes. Esto ha derivado en investigaciones que demuestran qué métodos de instrucción no siempre son efectivos. El campo de la Educación Química ha crecido tremendamente y diversas investigaciones indican que después de una instrucción tradicional de la Química los estudiantes a menudo tienen errores conceptuales y fallas en la integración de sus ideas de acuerdo con los marcos teórico conceptuales vigentes (Herron, 1996).

Un área de investigación que ha atraído mucha atención en educación química es el estudio de la solución de problemas contra el aprendizaje concep-

tual. Se ha encontrado que el éxito en la resolución matemática de problemas no indica destreza en el manejo de los conceptos científicos involucrados en él (Nakhleh y Mitchell, 1993).

Los estudiantes de química tienen problemas con los conceptos químicos y los errores conceptuales son abundantes en muchas áreas (Furió y Calatayud, 1996). Los errores conceptuales se refieren a los malos entendimientos de las ideas que no están de acuerdo con los puntos de vista científicos. Se han usado diversos términos para estos malos entendimientos, tales como: preconcepciones, concepciones alternativas, marcos alternativos, descripciones de los estudiantes y sistemas explicativos (Nakhleh, 1992).

Podemos considerar el término "concepciones alternativas" como una buena generalización de preconcepciones, concepciones erróneas, errores conceptuales, etcétera con base en Wandersee, Mintzes y Novak (1994), quienes proponen no separar las concepciones por su origen (previo o post), sino por su carácter de científicas y no científicas, y darles un nombre que no vaya en demérito de una concepción infantil o juvenil válida.

Las concepciones de los estudiantes en Termodinámica, energía libre y espontaneidad, en particular, han sido tópico de diversos estudios, por ejemplo a nivel de enseñanza media superior (Boo, 1998), y a nivel universitario (Tächert and Stacy, 2002). Asimismo, algunos autores consideran adicionalmente el tema del enlace químico (Barker, 2000; Coll y Taylor, 2002; Furió y Calatayud, 1996; Tsaparlis y Pappaphotis, 2002), estableciendo que hay evidencia que los estudiantes tienen errores conceptuales graves de conceptos fundamentales en esta área.

Termodinámica, enlace químico y espontaneidad

La comprensión del concepto de enlace químico y los principios básicos de Termodinámica son esenciales en química, para el estudio de la materia y sus

*FES-Cuautitlán UNAM, Depto. De Ciencias Químicas. Campo 1, Cuautitlán Izcalli, Estado de México C.P. 54740

Correo electrónico: obaya@servidor.unam.mx

Recibido: 1 de diciembre de 2003; aceptado: 5 de marzo de 2004.

transformaciones. Cuando se efectúa una reacción química los reactivos se convierten en productos, algunos enlaces químicos se rompen y otros se forman. Se requiere energía para romper los enlaces de los reactivos, y energía es liberada durante la formación de los enlaces de los productos. Las reacciones que liberan energía son a menudo caracterizadas por la ruptura de enlaces débiles y la formación de enlaces fuertes en los productos. La energía de enlace para un enlace químico específico es definida como la energía requerida para romper el enlace químico equivalente a la energía liberada durante la formación del enlace. Existen dificultades por parte de los estudiantes al tratar de entender la ruptura y formación de enlaces y aplicar los conceptos en situaciones determinadas.

La Termodinámica permite predecir si ciertas reacciones ocurrirán, si ellas pueden ser espontáneas. Ello se logra mediante la determinación del signo en el cambio de la energía libre ΔG , lo que indica si la reacción será espontánea si éste es negativo.

El cambio de la energía libre es fácilmente calculada a partir del cambio de entalpía ΔH , del cambio de entropía, ΔS , y la temperatura, T , con base en la ecuación:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S.$$

Por lo general se pregunta si una reacción dada, será espontánea, lo cual se logra responder mediante la determinación del ΔG , y a qué intervalos de temperatura resulta negativo. Los estudiantes llegan a resolver adecuadamente esta clase de problemas numéricos pero tienen dificultades al responder preguntas de carácter cualitativo sobre espontaneidad. Sobre todo cuando se les pide que a partir de valores de ΔH y ΔS determinen la espontaneidad de una reacción.

Algunos estudios de errores conceptuales en termodinámica identifican los problemas de los estudiantes con enlace químico y espontaneidad como un punto nodal de estos tópicos (Birk y Kurtz, 1999; De Posada, 1999; Nicoll, 2001).

En este trabajo se establece una estrategia de instrucción que permite ayudar a los estudiantes a comprender mejor estos conceptos.

Metodología

A partir de la premisa que establece que el aprendizaje de los estudiantes mejora cuando tenemos explícitamente conocimiento previo (conocimiento aprendido con anterioridad), explicación y discusión de sus ideas, las comparamos con las que han sido cubiertas en clase, y que el reto para los profesores es atender las concepciones alternativas de los estudiantes para diseñar experiencias de aprendizaje que les ayuden a desarrollar las ideas científicas. Buscamos investigar esas concepciones, las explicaciones de los estudiantes, y la integración de sus ideas para el diseño de una estrategia para Termodinámica que permita mejorar la comprensión de los estudiantes en conceptos como energía libre y espontaneidad, mediante sesiones de discusión y análisis que permitan a los estudiantes clarificar y reorganizar su conocimiento y descubrir inconsistencias en su comprensión.

La investigación se llevó a cabo con una muestra de 46 estudiantes (48% mujeres, 52% hombres), con edad promedio de 20 años, del tercer semestre de la carrera de Ingeniero Químico, carrera con enfoque tecnológico industrial. En la asignatura de Físicoquímica IV, en el semestre 2003-1. La asignatura se imparte con tres horas de clase de teoría y dos horas de laboratorio por semana durante 16 semanas que abarca el semestre. El grupo se dividió en dos secciones, la experimental ($N = 19$) y el grupo control ($N = 27$).

Figura 1. Ejemplo de algunas preguntas para iniciar el análisis y discusión de concepto en las guías de estudio de las sesiones de discusión.

-
- Enlista qué factores hacen que una reacción química ocurra? Explica cada factor que enlistes.
 - ¿Incrementando la temperatura o aplicando calor hacemos que una reacción sea más favorable? Explica tu respuesta.
 - ¿Para qué valores de ΔG una reacción se considera espontánea? Explica detalladamente tu respuesta.
 - Cuando un enlace químico es roto, ¿la energía es absorbida o liberada? Explica y justifica tu respuesta.
 - Explica el significado del término espontáneo en termodinámica.
-

En la sección experimental, dos horas de discusión fueron realizadas: una sobre el cambio de entalpía y otra hora sobre espontaneidad y cambio de energía libre; dichas sesiones de discusión se realizaron durante las tres primeras semanas del semestre. Asimismo, material de apoyo didáctico adicional se proporcionó a los estudiantes, de los textos más empleados en la asignatura, y siempre se realizaron con el mismo profesor. Durante las sesiones de discusión, para iniciar el análisis y discusión de conceptos, se emplearon guías de estudio con preguntas abiertas sobre termoquímica, entalpía de enlace y función de Gibbs, pidiéndoles que explicaran y justificaran su respuesta, primero en forma individual y luego en equipos de tres a cuatro estudiantes. Se motivaba a los estudiantes a explicar sus conceptos y la integración de sus ideas, así como las de los demás participantes, construyendo, clarificando y ampliando entre ellos los diversos conceptos que se discutían. En caso de conflicto se pedía que algún estudiante leyera en voz alta, del material didáctico proporcionado, lo relativo al concepto en discusión y se solicitaba que algún otro estudiante explicara a los demás lo leído por su compañero. Si aún así no se esclarecía el concepto y quedaba alguna divergencia con la concepción científica aceptada intervenía el profesor, proporcionando de ser necesario algún otro material, solicitando al término de su intervención que otro estudiante explicara nuevamente el concepto. Nos basamos en que los estudiantes aprenden más cuando dan explicaciones que cuando las reciben (Webb, 1989).

Se llevó a cabo un registro de las sesiones de discusión con el grupo experimental sobre dudas, preguntas, comentarios, aclaraciones, explicaciones, etcétera, más frecuentemente solicitadas, requeridas, por los estudiantes de esta sección con el fin de establecer qué concepciones alternativas se presentaban con mayor frecuencia y que dificultaban la integración de sus ideas y los conceptos científicamente aceptados.

Ambas secciones atendieron las mismas clases de teoría en las que se revisó el tema de energía de enlace y tópicos de termodinámica como cambio de energía libre de Gibbs y espontaneidad, en aproximadamente seis horas y media. La diferencia entre la sección experimental y la de control fueron las dos horas de discusión adicional.

Todo concepto discutido en la sección experimental fue cubierto en la sección de control, aunque no al mismo nivel de detalle. Sin embargo, algunos tópicos cubiertos en la sección control como capaci-

dad calorífica y trabajo no fueron cubiertos en la sección experimental.

La sección experimental empleó más tiempo en pocos conceptos, pero los conceptos de interés en esta investigación fueron revisados en ambas secciones.

Se realizaron también entrevistas antes y después de las sesiones de discusión, con 21 estudiantes, nueve del grupo experimental y 12 del grupo control para determinar sus concepciones alternativas y cómo éstas habían cambiado durante el avance del semestre.

Para la evaluación final, de los estudiantes en la asignatura se tomó en cuenta el trabajo y la participación en clase durante el semestre, tres exámenes parciales y el examen final. Este último, un examen de opción múltiple con un coeficiente de consistencia interna de alfa de Cronbach de 0.85, con valor total de 100 puntos.

Resultados

Los conceptos de energía de enlace y espontaneidad fueron revisados mediante dos instrumentos tipo cuestionario, previamente validados, mediante pruebas piloto a estudiantes del tercer semestre de la carrera de Químico Industrial: uno sobre Termoquímica y Entalpías de Enlace, y el otro sobre Función de Gibbs y Espontaneidad, ambos con tres reactivos de carácter cuantitativo y cuatro reactivos de carácter cualitativo.

Los estudiantes del grupo experimental se desempeñaron significativamente mejor que los estudiantes del grupo control tanto en los aspectos cuantitativos como cualitativos relacionados con energía libre. Este resultado no se esperaba, ya que la investigación hace énfasis sobre los aspectos cualitativos y sólo se consideraba un avance en este aspecto.

Esto se puede explicar con base en ciertos trabajos que consideran que existe un mejor desempeño de los estudiantes en problemas cuantitativos cuando se incrementa el entendimiento conceptual de ideas de ciencia básica (Rickey, 1999).

En cuanto a cambio de energía libre y espontaneidad, tanto los estudiantes del grupo experimental como los del grupo control calcularon el cambio de energía libre estándar de una reacción y calcularon el intervalo de temperatura para el cual una reacción dada es espontánea; sin embargo, hubo diferencias significativas para la solución de los reactivos de carácter cualitativo. Solamente un estudiante del grupo experimental no pudo completar la información que se solicitaba, y dos estudiantes se equivo-

caron en el signo del ΔS . Los resultados de las entrevistas señalan que los estudiantes tienen muchas concepciones alternativas adquiridas previamente a la revisión de los conceptos tanto en clase como en las sesiones de discusión, en especial para los estudiantes del grupo experimental, donde se aprecia un mayor avance en la comprensión del concepto y la integración de ideas que en los estudiantes del grupo control.

Conclusiones

Los estudiantes que participaron en las sesiones de discusión como estrategia de instrucción se desempeñaron significativamente mejor que los estudiantes que participaron en la sección que sólo tuvo la instrucción tradicional de la asignatura de Físicoquímica IV, tanto en las evaluaciones escritas como en las entrevistas que se realizaron. Los estudiantes lograron un mejor entendimiento de los conceptos de energía libre y espontaneidad después de participar en una estrategia de instrucción que los motivó a explicar sus conceptos.

Este trabajo demuestra la eficacia de la explicación e integración de ideas entre los estudiantes en una asignatura de Físicoquímica, que tradicionalmente se considera como una de las materias más difíciles en los planes de estudio de las carreras del área de la Química, por lo que el empleo de esta estrategia puede evitar errores conceptuales en termodinámica favoreciendo el desempeño académico de los estudiantes y disminuir el índice de reprobación en esta materia.

Las entrevistas ilustran qué tan arraigadas están las concepciones de los estudiantes que interfieren con el aprendizaje y cómo las sesiones de discusión habilitan a los estudiantes para razonar mejor y poder explicar sus propias ideas en relación con los conceptos vistos en clase. Lo anterior, gracias a que los estudiantes, al explicar sus ideas, clarifican y reorganizan su conocimiento, lo que además les permite descubrir y corregir sus inconsistencias sobre el tema estudiado.

El aprendizaje enciclopedista ya no es procedente en las condiciones actuales, según la propia percepción de los estudiantes.

Por otra parte, la importancia otorgada a escuchar con atención a los estudiantes puede ser reveladora de que la clase magistral o exposición oral del

profesor, que sigue siendo usual como vehículo de enseñanza de la Físicoquímica, ya no es la más aconsejable en todos los casos para propiciar el aprendizaje.

Puede considerarse que esta investigación de carácter exploratorio cumplió con los objetivos propuestos y que este trabajo puede dar la pauta a posteriores investigaciones. ■

Bibliografía

- Barker, V. 2000. Students' reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course, *International Journal of Science Education*, **22** (11), 1171-1200.
- Birk, J. y Kurtz, M. 1999. Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding, *Journal of Chemical Education*, **76**(1), 124-128.
- Bodner, G.M. 1986. Constructivism: A theory of knowledge, *Journal of Chemical Education*, **68**, 385-388
- Boo, H.K. 1998. Students understanding of chemical bonds and the energetics of chemical reactions, *Journal of Research in Science Teaching*, **35**, 569-581.
- Coll, R. K. y Taylor, N. 2002. Mental models in chemistry: senior chemistry students' mental models of chemical bonding, *Chemical Education Research and Practice in Europe*, **3** (2), 175-184.
- de Posada, J. M. 1999. The presentation of metallic bonding in high school science textbooks during three decades: science educational reforms and substantive changes of tendencies, *Science Education*, **83**, 423-447.
- Furió, C. y Calatayud, M.L. 1996. Difficulties with the Geometry and Polarity of Molecules. Beyond Misconceptions, *Journal of Chemical Education*, **73**, 36-41.
- Herron, J.D., 1996. *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching*. Washington, DC: American Chemical Society
- Nakhleh, M.B. 1992. Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, **69**, 191-196.
- Nakhleh, M.B. y Mitchell, R.C. 1993. Concept learning versus problem solving: There is a difference?, *Journal of Chemical Education*, **70**, 190-192.
- Nicoll, G. 2001. A report of undergraduates' bonding misconceptions, *International Journal of Science Education*, **23**(7), 707-730.
- Teichert, M.A. y Stacy, A.M. 2002. *Student conceptions of chemical bond energy*. University of California at Berkeley.
- Tsaparlis, G. y Papaphotis, G. 2002. Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students. *Chemical Education Research and Practice in Europe*, **3**(2), 129-144.
- Rickey, D. 1999. *The effects of laboratory curriculum and instruction on undergraduate students understanding of chemistry*. University of California at Berkeley.
- Wandersee, J.H., Mintzes, J.J. y Novak, J.D. 1994. Research on Alternative Conceptions in Science. In Gabel, D. (Ed), *Handbook on Science Teaching and Learning*, New York, Macmillan, 177-210.
- Webb, N.M. 1989. Peer interaction and learning in small groups. *International Journal of Education Research*, **13**, 21-39.

Figura2. Ejemplo de algunos reactivos de tipo cuantitativo y de tipo cualitativo aplicados en los cuestionarios

Cuantitativo

- Calcular el valor de ΔG y K para la siguiente reacción a 25 °C

$$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HCl}(\text{g})$$
- Calcular el valor de ΔG a 1000 K para la siguiente reacción:

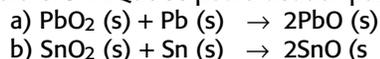
$$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$$
- Calcular el cambio de energía libre que acompaña la compresión de 56 g de CO_2 a 60°C desde 25 a 300 ba
- Cuando la presión sobre una muestra líquida de 35 g se aumenta isotérmicamente de 1 a 3000 atm, su función de Gibbs aumenta en 12 kJ. Calcular la densidad del líquido.

Cualitativo

- ¿Cuáles son los valores de ΔE , ΔH , ΔS y ΔG en la expansión de un gas ideal en el vacío a T constante?

- _____ $\Delta E = 0$ $\Delta H = 0$ $\Delta S > 0$ $\Delta G < 0$
- _____ $\Delta E = \Delta 0$ $\Delta H > 0$ $\Delta S = 0$ $\Delta G < 0$
- _____ $\Delta E > \Delta 0$ $\Delta H > 0$ $\Delta S = 0$ $\Delta G = 0$
- _____ $\Delta E > \Delta 0$ $\Delta H = 0$ $\Delta S < 0$ $\Delta G > 0$

- Los estados de oxidación más característicos para los compuestos de Pb y Sn son +2 para el Pb, y +4 para el Sn. ¿Qué se podrá deducir para las siguientes reacciones?



- _____ $\Delta G^\circ_a < 0$ y $\Delta G^\circ_b > 0$
- _____ $\Delta G^\circ_a > 0$ y $\Delta G^\circ_b < 0$
- _____ $\Delta G^\circ_a = \Delta G^\circ_b = 0$

- La forma más estable del carbono a temperatura ambiente y presión de una atmósfera es la forma grafito. Podemos establecer

- _____ $\Delta G^\circ_f(\text{diamante}) = 0$
- _____ $\Delta G^\circ_f(\text{diamante}) > 0$
- _____ $\Delta G^\circ_f(\text{diamante}) < 0$
- _____ $\Delta G^\circ_f(\text{diamante}) = \Delta G^\circ_f(\text{grafito})$

- Para las siguientes reacciones, indica con una x si los productos se forman, si la ΔS° es positiva y si la reacción es exotérmica.

