

Estudio exploratorio sobre la comprensión de los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor en estudiantes universitarios

ABSTRACT (Exploratory study on students' conceptions of evaporation, condensation and vapor pressure)

This study investigates students' conceptions of evaporation, condensation and vapor pressure that are Physical Chemistry basic concepts. Chemical Engineer and Industrial Chemistry major students were questioned on three tasks that had been designed around these topics. Qualitative analysis of student responses according to Robson's method showed a range of conceptions in each area, including some misconceptions. The implication in the teaching-learning process is that observation of physical chemistry phenomena is not enough. On the contrary, it is necessary to give time to students for reflection and to debate their hypothesis and conceptions.

PALABRAS CLAVE Conceptos fisicoquímicos, evaporación, condensación, presión de vapor

Adolfo Obaya V., Yolanda Marina Vargas y Graciela Delgadillo G.¹

Introducción

La Ingeniería Química y la Química Industrial son profesiones en las cuales los fundamentos de ciencia son aplicados al diseño de procesos químicos. Durante sus estudios los estudiantes de estas carreras aprenden las bases de Matemáticas, Química y Física para aplicarlas en un amplio intervalo de conceptos de Ingeniería.

En este trabajo se revisan conceptos fisicoquímicos básicos como evaporación, condensación y presión de vapor, los cuales son aplicados en Ingeniería Química.

Hay evidencia (Cros, Chastrette y Fayol, 1998) que los estudiantes a menudo se esfuerzan por aprender Química y muchos de ellos no comprenden correctamente los conceptos fundamentales teniendo serias implicaciones en la enseñanza aprendizaje de tópicos de mayor nivel (Nakhleh, 1992).

Resultados de trabajos de evaluación de conocimientos de Química desde la enseñanza secundaria hasta el ingreso al posgrado (Chamizo y Sosa, 2002; Chamizo, Nieto y Sosa, 2004) indican que los alumnos llegan a las carreras de Química sin dominar los conocimientos básicos de la disciplina y que, luego, la enseñanza de los conocimientos intermedios que se intenta proporcionar a nivel licenciatura no logra afianzar los conocimientos básicos ni, en consecuencia, incorporar los intermedios.

Una particular dificultad que los conceptos de Química presentan está en la necesidad de comprenderlos de forma macroscópica y microscópica y su relación (Stavy, 1990; Ta-

ber, 2001; Talanquer, 2006; Stains y Talanquer, 2007) siendo esto pertinente para el tópico de cambio de fase, cuando coexisten líquido y vapor.

Por ejemplo, para el concepto evaporación se requiere un alto grado de abstracción para su comprensión (Russell, Harlen y Watt, 1989; Bar y Galili, 1994; Johnson, 1998a; Tytler y Peterson, 2000; Taber, 2001; Tytler y Peterson, 2004; Coştu y Ayas, 2005), porque la evaporación es esencialmente un fenómeno "invisible" que acontece en el nivel microscópico con la sola evidencia de un decremento en el nivel de líquido a nivel macroscópico.

Se ha reportado que inclusive algunos profesores no comprenden claramente el concepto (Chang, 1999; Calik y Ayas, 2005; Canpolat, Pinarbasi y Sozbilir, 2006).

El concepto de condensación tiene aun mayor dificultad de comprensión, dado lo difícil que resulta entender que vapor de agua y aire coexisten a nuestro alrededor, con objeto de explicar la formación visible de gotas de agua en una superficie (Johnson, 1998b; Bar y Travis, 1991, Gopal, Kleinsmidt, Case y Musonge, 2004). Además, a la condensación se le relaciona solamente con frío (Chang, 1999; Tyler, 2000; Canpolat, 2006).

En cuanto al concepto de presión de vapor se le confunde generalmente con el concepto de presión atmosférica (Hwang y Hwang, 1990; Fassouloupoulos, Kariotoglou y Koumaras, 2003).

El objetivo de este trabajo es investigar la comprensión de los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor en estudiantes de las carreras de Ingeniería Química y Química Industrial, así como posibles concepciones alternativas de los mismos. Dichos conceptos son considerados básicos en el área de Físicoquímica y se aplican en el diseño de procesos químicos.

¹ FES-Cuautitlán UNAM. Campo 1.

Correo electrónico: obaya@servidor.unam.mx

Recibido: 11 de octubre de 2006; aceptado: 18 de septiembre de 2007.

Metodología

La muestra consistió en 42 estudiantes (62% hombres y 38% mujeres) de las dos carreras mencionadas que son del área científico-tecnológica y con enfoque similar hacia la industria.

Los alumnos encuestados tienen una edad promedio de 21 años y estudian el cuarto semestre en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, en México.

Los estudiantes del cuarto semestre de ambas carreras ya cursaron el curso de Físicoquímica Básica donde se revisaron los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor, por lo que se espera que los estudiantes no sólo comprendan dichos conceptos sino que también puedan aplicarlos.

Se explicó a los estudiantes que no se trataba de examinarlos, por lo que se les pidió su colaboración en esta investigación.

El cuestionario que se aplicó se respondió en forma anónima en un tiempo de máximo de 30 minutos, en los horarios de clase correspondientes en asignaturas diferentes a Físicoquímica.

El cuestionario consta de tres actividades de carácter didáctico con preguntas abiertas (cuadro 1). Se basa en un trabajo de Johnson (1998a), relacionada con el concepto de evaporación. La segunda actividad está basada en un trabajo de

Chang (1999) relacionada con el concepto de condensación y la tercera actividad fue formulada por los autores para probar el concepto de presión de vapor.

Los datos fueron analizados cualitativamente de acuerdo con el método de Robson (1993) conocido como código de distribuciones. Todas las respuestas fueron revisadas, categorizadas y codificadas en función del nivel de comprensión que el estudiante mostró en la respuesta de las preguntas.

Con el objeto de contrastar las respuestas y poder clasificarlas adecuadamente el cuestionario se aplicó también a tres profesores de Físicoquímica, con grado de doctor en el área y una experiencia docente mayor de cinco años. Las categorías fueron finalmente verificadas mediante discusión entre los autores.

Resultados

Los estudiantes tuvieron la oportunidad de resolver problemas de nivel conceptual sin el uso de cálculos avanzados, al resolver el cuestionario (cuadro 1), lo que permitió establecer la comprensión básica de dichos conceptos.

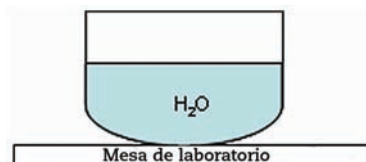
Con el fin de identificar y analizar las diferentes respuestas al cuestionario éstas se categorizaron en torno de los procesos

Cuadro 1. Cuestionario aplicado sobre evaporación, condensación y presión vapor RESPONDE A LAS PREGUNTAS DE CADA UNA DE LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS.

Actividad A

Un recipiente con agua se encuentra sobre una mesa de laboratorio, la temperatura del agua del recipiente, así como la temperatura ambiente en el laboratorio, es de 25°C (figura 1).

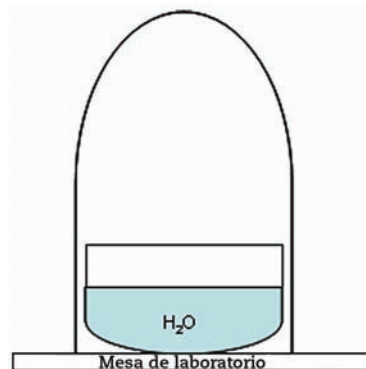
1. ¿Qué pasaría con el nivel de agua después de que pasa el tiempo?
2. ¿Qué entiendes por evaporación?



Actividad B

Un recipiente con agua con una cubierta de plástico transparente se encuentra sobre una mesa de laboratorio. La temperatura del agua del recipiente, así como la temperatura ambiente en el laboratorio, es de 25°C (figura 2).

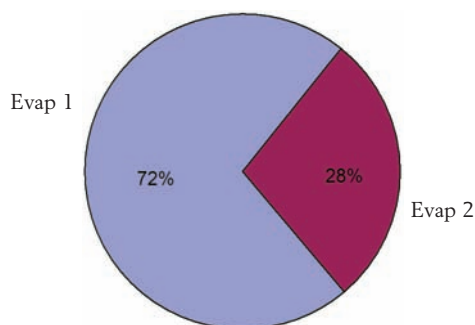
3. ¿Qué pasaría con el nivel de agua después de que pasa el tiempo?
4. ¿Qué se observaría en la parte superior de la cubierta transparente después de que pasa el tiempo?
5. ¿Cómo sería la presión en el interior de la cubierta transparente después de que pasa el tiempo?



Actividad C

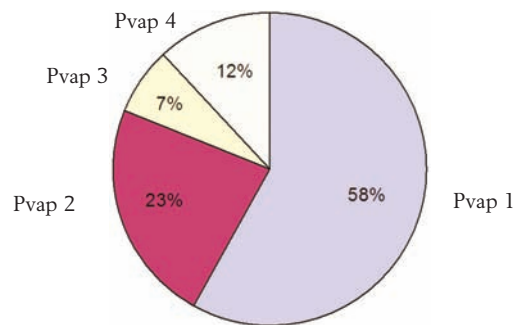
Las presiones de vapor de acetona y agua son 30.6 y 3.17 kPa respectivamente a 25°C.

6. Si en dos recipientes tipo actividad A, uno tuviera acetona y el otro agua, ¿qué se esperaría con el nivel de ambos líquidos después de que pasa el tiempo?
7. ¿Qué entiendes por presión de vapor?



- Evap 1 La evaporación es simplemente descrita como un cambio de fase de vapor a líquido (macroscópica)
- Evap 2 La evaporación descrita en términos de partículas incluyendo energía cinética (macroscópica)

Diagrama 1. Categorías de las respuestas relacionadas al nivel de comprensión de la evaporación.



- Pvap 1 Definición completamente incorrecta de presión de vapor.
- Pvap 2 Definición parcialmente correcta.
- Pvap 3 Definición de presión de vapor útil basada en experiencia previa.
- Pvap 4 Definición correcta de presión de vapor.

Diagrama 3. Categorías de las respuestas relacionadas con presión de vapor.

de evaporación, condensación y presión de vapor (diagrama 1, diagrama 2, diagrama 3).

El criterio para establecer estas categorías y su codificación fue diferenciar entre las explicaciones dadas por los estudiantes desde una descripción simple y superficial como un cambio de fase de naturaleza macroscópica hasta una descripción en términos de partículas mencionando colisiones e involucrando el concepto de energía.

Las categorías y su codificación ayudan a identificar las tendencias entre los estudiantes en relación con la respuesta científicamente aceptada. Lo deseable a este nivel de sus estudios es que los estudiantes empleen la teoría cinética corpuscular al dar sus explicaciones.

La teoría cinética corpuscular es una primera explicación de la materia. Está relacionada con todos los conceptos que se

estudian en química. Se considera que para entender el resto de la química o los conocimientos propios de la química es indispensable haber comprendido cabalmente las ideas centrales de este modelo.

Las respuestas de los expertos en relación con los conceptos investigados siempre involucraron descripciones fundamentadas en la teoría cinética corpuscular involucrando colisiones, cambios en la energía cinética para la evaporación, la condensación y la presión de vapor. Fueron descripciones basadas en los conceptos científicamente aceptados, mismos que nos sirvieron para categorizar y codificar las respuestas dadas por los estudiantes encuestados.

Algunos ejemplos de respuestas proporcionadas por los estudiantes en relación con la evaporación son:

“Evaporación es agua pasando de líquido a la fase vapor.”

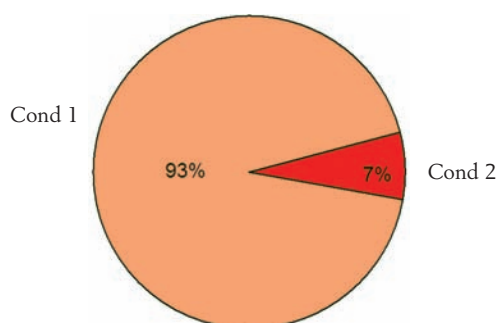
“Evaporación es el punto de temperatura cuando un líquido pasa a vapor.”

“Evaporación es cambio del estado de la materia de líquido a gaseoso por efecto de la temperatura.”

“Evaporación es cuando el agua pasa de líquido a vapor por una elevación de temperatura incrementando el choque de las *moléculas*.”

La mayoría de los estudiantes dio una definición superficial de evaporación: el 72% de los estudiantes encuestados usaron términos macroscópicos para describir la evaporación (diagrama 1).

Esto puede implicar que entre los estudiantes universitarios la teoría cinética corpuscular no es vista como una herramienta para desarrollar a profundidad la comprensión de los



- Cond 1 La condensación es superficialmente descrita como un cambio de fase de vapor a líquido (macroscópica)
- Cond 2 La condensación es superficialmente descrita como un cambio de fase de vapor a líquido (macroscópica)

Diagrama 2. Categorías de las respuestas relacionadas al nivel de comprensión de la condensación.

Tabla 1. Concepciones alternativas asociadas con la evaporación

| Código | Descripción |
|---------|--|
| Evap CA | Concepción alternativa que la evaporación requiere de un gradiente de temperatura. |
| Evap SC | Concepción alternativa que la evaporación solamente ocurre en un sistema cerrado. |

fenómenos naturales y está contextualizada como un concepto fisicoquímico para ser aprendido para los exámenes y después ser olvidado.

En relación con la evaporación, la categorización y codificación de las respuestas permitió establecer concepciones alternativas relacionadas con dicho proceso (tabla 1). La más común es que los estudiantes creen que un gradiente de temperatura es requerido para iniciar el proceso de evaporación. Es decir que una diferencia de temperatura debe existir entre el agua en el recipiente y los alrededores. Los estudiantes con esta concepción alternativa creen que el nivel de agua no cambiará porque el sistema está a temperatura ambiente o bien porque no existe gradiente de temperatura.

Ejemplos de respuestas proporcionadas por los estudiantes en relación con lo anterior son:

“Si la temperatura es constante el nivel del agua no disminuirá.”

“Si el laboratorio y el recipiente están a la misma temperatura no hay transferencia de energía, por lo tanto no habrá cambio de fase.”

En relación con el proceso de condensación, la categorización y codificación de las respuestas se presenta en el diagrama 2. Se esperaba que los estudiantes fueran capaces de aplicar la teoría cinética corpuscular para explicar el proceso de condensación.

Sólo el 7% de la muestra encuestada dio una respuesta que involucrara una comprensión microscópica del concepto de condensación. Al igual que en la evaporación la concepción alternativa más común se relaciona con la existencia de un gradiente de temperatura, aun cuando en la pregunta relacionada con el proceso de condensación se establece que la temperatura de 25°C es constante. Un estudiante fue más allá al explicar que el agua necesitaba calentarse a más de 25°C y que el recipiente debía ser enfriado a menos de 25°C para justificar la evaporación y la condensación.

Algunos estudiantes no pudieron predecir qué pasaría con la presión cuando pasa el tiempo en el sistema cerrado. En vez de usar la teoría cinética para explicar el incremento de la presión al equilibrio, optaron por conceptos de nivel medio superior como que la presión fue inversamente proporcional al volumen cuando la cubierta transparente fue colocada para cerrar el sistema.

Tabla 2. Concepciones alternativas asociadas con la condensación.

| Código | Descripción |
|---------|---|
| Cond CA | Concepción alternativa que la condensación requiere de un gradiente de temperatura. |
| Cond SC | Concepción alternativa que la condensación solamente ocurre en un sistema cerrado. |

Ejemplos de respuestas proporcionadas por los estudiantes en relación con esto son:

“La presión con el paso del tiempo sería la misma.”

“Cuando pasa el tiempo la presión en el recipiente tapado aumenta ya que el volumen de agua disminuye.”

Otros estudiantes creen que la presión debería incrementarse debido a la reducción en el volumen cuando la tapa es colocada en la botella o la cubierta es puesta sobre el recipiente, y no ven que cualquier incremento en la presión debería ser atribuido al incremento en moléculas de agua en la fase vapor.

En cuanto a la condensación, se observa con base en los resultados que la concepción alternativa que presenta la mayoría de los estudiantes es necesitar una superficie fría o un gradiente de temperatura negativo para explicar la condensación. Esto puede deberse al tipo de demostraciones usadas para describirla, así como a las explicaciones que dan los libros de texto en torno de ello. Algunos autores señalan que los estudiantes consideran que algo la causa (Chang, 1999; Jeevaratnam, 2000).

En la actividad C del cuestionario relacionada con presión de vapor, se esperaba que la mayoría de los estudiantes respondieran que la acetona se evaporaría más rápido que el agua, ya que tiene mayor presión de vapor a la misma temperatura. La categorización y codificación de las respuestas se presenta en el diagrama 3. Para su resolución sólo el 7% de la muestra usó su experiencia previa para resolver la actividad, en cuanto a las propiedades de la acetona como disolvente y su volatilidad, y no propiamente con los datos de las presiones de vapor.

Con relación al concepto presión de vapor, la mayoría de los estudiantes no tiene una buena idea de lo que significa; sólo 12% de la muestra encuestada dio una definición formal de presión de vapor.

Los resultados indican que la evidencia física por sí sola no puede generar un cambio conceptual completo desde concepciones alternativas pero puede definitivamente ser vista como una herramienta complementaria que se añada a este proceso.

Recomendaciones

Con el fin de precisar, acotar, redefinir conceptos vistos en clase y evitar en lo posible concepciones alternativas de los

alumnos, recomendamos las denominadas sesiones de discusión como estrategia de instrucción. Los estudiantes logran una mejor comprensión de los conceptos revisados después de participar en una estrategia de instrucción que los motivó a explicar sus conceptos (Obaya, 2004).

Las entrevistas ilustran qué tan arraigadas están las concepciones de los estudiantes que interfieren con el aprendizaje y cómo las sesiones de discusión los habilitan para razonar mejor y poder explicar sus propias ideas en relación con los conceptos vistos en clase, ya que los estudiantes al explicar sus ideas, clarifican y reorganizan su conocimiento permitiendo además descubrir y corregir sus inconsistencias sobre el tema estudiado (Obaya, 2004).

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 la 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.

Conclusiones

En general, nuestros resultados refuerzan algunas conclusiones de estudios previos sobre el tema investigado.

Con base en la muestra estudiada, la mayoría de los estudiantes encuestados tiene una comprensión inadecuada de los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor que son conceptos básicos de Físicoquímica, que confirma lo reportado por Johnson (1998a) mostrando una comprensión superficial de los conceptos.

Una concepción alternativa que se identificó es que, para la mayoría de los estudiantes, para los conceptos de evaporación y condensación se requiere un gradiente de temperatura (Chang, 1999).

Otra concepción alternativa encontrada y reportada anteriormente por Johnson (1998b), se relaciona con el hecho de que sólo ocurren en sistemas cerrados (tablas 1 y 2).

Aunque sólo el 12% de los estudiantes encuestados establecieron en forma correcta el concepto de presión de vapor, la mayoría de ellos puede hacer uso de datos y de evidencia física.

Se corroboró la dificultad que tienen los estudiantes de comprender en forma simultánea lo macroscópico y lo microscópico, así como su relación, al igual que la abstracción de ciertos conceptos básicos en el área de Físicoquímica (Taber, 2001; Talanquer, 2006).

Los estudiantes tienen dificultad para entender el abstracto e inobservable mundo microscópico y las representaciones simbólicas de sustancias y procesos (Chamizo, Nieto y Sosa, 2004; Stains y Talanquer, 2007) cuando se les pide que piensen como científicos.

Conceptos básicos de Físicoquímica (como los aquí investigados) no llegan a ser plenamente comprendidos ni mucho

menos dominados; se construye en los distintos niveles sobre cimientos frágiles e inestables que no permiten un aprendizaje íntegro de la disciplina. Sobra decir que éste puede ser un factor importante en los resultados pobres que tradicionalmente muestra la enseñanza de la Físicoquímica. Cuando los alumnos aprenden “mal” un concepto es muy difícil revertir ese aprendizaje posteriormente.

Las implicaciones para la práctica docente son que los estudiantes necesitan no solamente de experiencia y observar fenómenos físicoquímicos básicos en el laboratorio sino también debe dárseles tiempo para reflexionar y cuestionar sus propias hipótesis y concepciones, estableciendo un diálogo con sus profesores.

Los resultados de este estudio exploratorio sobre los conceptos de evaporación, condensación y presión de vapor en estudiantes universitarios pueden ayudar a los profesores de Físicoquímica a identificar, comprender y aun explicarse las posibles concepciones alternativas que sus estudiantes pudieran tener sobre los conceptos aquí investigados.

Bibliografía

- Bar, V. y Galili, I. Stages of children's views about evaporation, *International Journal of Science Education*, 16, 157-174, 1994.
- Bar, V. y Travis, S. Children's views concerning phase changes, *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4) 363-382, 1991.
- Calik, M. y Ayas, A. A comparison of level of understanding of eight-students and science student teachers related to selected chemistry concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6) 638-667, 2005.
- Canpolat, N. Turkish undergraduates' misconceptions of evaporation, evaporation rate, and vapour pressure, *International Journal of Science Education*, 28(15) 1757-1770, 2006.
- Canpolat, N. Pinarbasi, T. y Sozibilir, M. Prospective teachers' misconceptions of vaporization and vapor pressure, *Journal of Chemical Education*, 83(8) 1237-1242, 2006.
- Chamizo, J.A., Nieto, E. y Sosa, P. La enseñanza de la Química. Tercera parte. Ev de los conocimientos de química desde secundaria hasta licenciatura, *Educ. quim.*, 15(2) 108-112, 2004.
- Chamizo, J.A. y Sosa, P. La enseñanza de la Química. Segunda parte. El ingreso al posgrado, *Educ. quim.*, 13(4) 254-258, 2002.
- Chang, J. Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling, *Science Education*, 83(5) 511-526, 1999.
- Cotşu, B. y Ayas, A. Evaporation in different liquids: secondary students conceptions, *Research in Science & Technological Education*, 23(1) 75-97, 2005.
- Cros, D., Chastrette, M. y Fayol, M. Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry, *International Journal of Science Education*, 10(3) 331-336, 1998.
- Fassoulopoulos, G. Kariotoglou, P. y Koumaras, P. Consistent and inconsistent pupils' reasoning about intensive quanti-

- ties: The case of density and pressure, *Research in Science Education*, **33**(1) 71-87, 2003.
- Gopal, H., Kleinsmidt, J., Case, J. y Musonge, P. An investigation of tertiary students understanding of evaporation, condensation and vapour pressure, *International Journal of Science Education* **26**(13) 1597-1620, 2004.
- Hwang, B. y Hwang, H. *A study of cognitive development of the concepts of solution*. Research report sponsored by the National Science Council, R.O.C. Taipei, Taiwan, 1990.
- Jeevaratnam, E., Msiza, A., Case, J. y Fraser, D. *Understanding of energy by first year students. Proceedings of the 3rd Working Conference on Engineering Education for the 21st Century*, Sheffield Hallam University, Sheffield, 117-122, 2000.
- Johnson, P. Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 1: Boiling water and the particle theory, *International Journal of Science Education*, **20**(6) 567-583, 1998a.
- Johnson, P. Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 2: Evaporation and condensation below boiling point, *International Journal of Science Education*, **20**(6) 695-709, 1998b.
- Nakhleh, M. Why some students don't learn chemistry, *Journal of Chemical Education*, **69**(3) 191-196, 1992.
- Obaya, A. Cambio de energía libre y espontaneidad a través de las explicaciones de los estudiantes e integración de sus ideas, *Educ. quim.*, **15**(4) 436-440, 2004.
- Robson, C. *Real World Research: A Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers*. Oxford: Blackwell, 1993.
- Russell, T. Harlen, W. y Watt, D. Children's ideas about evaporation, *International Journal of Science Education*, **11**, 566-576, 1989.
- Stains, M. y Talanquer, V. Classification of Chemical Substances using Particulate Representations of Matter: An analysis of student thinking, *International Journal of Science Education*, **29**(5) 643-661, 2007.
- Stavy, R. Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas, *Journal of Science Education*, **11**, 566-576, 1990.
- Taber, K. Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **2**(2) 123-158, 2001.
- Talanquer, V. Common sense chemistry: A model for understanding students alternative conceptions, *Journal of Chemical Education*, **83**(5) 811-816, 2006.
- Tytler, R. A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: dimensions of conceptual progression, *International Journal of Science Education*, **22**(5) 447-467, 2000.
- Tytler, R. y Peterson, S. Deconstructing learning in science: Young children's responses to a classroom sequence on evaporation, *Research in Science Education*, **30**(4) 339-355, 2000.
- Tytler, R. y Peterson, S. Young children learning about evaporation: Insights from a longitudinal study, *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technological Education*, **4**(1) 111-126, 2004.



Gracias a la DGAPA-UNAM PAPIME PE2004406

Educación Química agradece a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México el apoyo otorgado, que fue utilizado parcialmente para la construcción de esta nueva página para la venta electrónica de la revista, a través del Proyecto PAPIME PE2004406, denominado 'El vigésimo aniversario de la revista *Educación Química*'.