

Experiencias de la
enseñanza de la ciencia
en la educación básica

Conocimientos básicos de profesores mexicanos de química de secundaria

*Alejandra García-Franco, Flor Reyes-Cárdenas,
Leticia Gallegos y Fernando Flores**

Abstract (*Secondary Chemistry Teachers' Content Knowledge*)

In this paper, we emphasize the relationship between the possibilities of implementation of an educational reform, and teachers' content knowledge. We present the results of research undertaken with secondary school chemistry teachers in ten different states in Mexico. The results show that teachers have an insufficient content knowledge as well as a lack of conceptual elements, which would be necessary to transform the teaching practice according to the educational reform. We consider the suitability of in-service training as has been done so far, as well as suggest some issues to be considered in further teacher training programs.

Introducción

El papel de los profesores en la reforma educativa

La implementación de una reforma educativa generalmente se acompaña de una diversidad de cursos y talleres que acercan los objetivos y contenidos de ésta a los maestros. Tanto en México como en diversas partes del mundo, el resultado de estos procesos de actualización no es del todo satisfactorio, dado que no se logra una verdadera transformación en los profesores, tanto en el plano conceptual como en el pedagógico-didáctico (Supovitz y Turner, 2000; Flores *et al.*, 2004a).

Si bien es innegable que el papel de los maestros es fundamental para el éxito de cualquier reforma educativa, la investigación ha evidenciado que existen enormes diferencias entre lo que proponen los diseñadores del currículo y la práctica real en el salón de clases (Cronin-Jones, 1991). De acuerdo con Serna y Valdez (2002), el diseño cuidadoso y fundamentado del currículo de ciencias no puede modificar la enseñanza mientras los docentes no cuenten con la preparación adecuada que les permita comprenderlo y traducirlo en acciones pedagógicas. Es fundamental que los procesos

de actualización tomen en cuenta lo que los maestros saben de forma que logren comprender los objetivos y contenidos de la reforma, más allá del discurso. Estos autores reconocen que una de las principales causas por las que los profesores no son capaces de transformar su práctica docente es el conocimiento insuficiente de la disciplina que enseñan, y aun cuando esta afirmación es una percepción generalizada, requiere un análisis detallado que dé cuenta del dominio de los profesores en su disciplina.

Los procesos de actualización de profesores en México

La educación secundaria en México adquirió carácter de obligatoria a partir de 1993 (la educación secundaria comprende estudiantes entre 12 y 15 años de edad). Esta reforma educativa se llevó a cabo mediante la publicación de nuevos planes de estudio, y diversas acciones que facilitan y promueven su puesta en práctica. Como parte de estas acciones, a partir de 1993, la Secretaría de Educación Pública (SEP) ofrece cursos nacionales de actualización (CNA) dentro del Programa Nacional de Actualización para Profesores en Servicio (PRONAP), cuyo objetivo es acercar los contenidos y propuestas de la reforma educativa a los maestros en ejercicio. Dicho curso se lleva a cabo fundamentalmente de manera autodidacta y cubre aspectos propios de cada una de las disciplinas, así como aspectos pedagógicos y didácticos. Los resultados de los exámenes que evalúan dichos cursos, dejan claro que los profesores carecen de una sólida formación disciplinaria y que si bien, conocen el discurso de la metodología para la enseñanza de las ciencias, pocos lo aplican de manera adecuada en el aula (Sánchez, *et al.* 2001; Flores *et al.*, 2004a).

En México, los profesores de química de secundaria pueden tener una formación inicial diversa. Pueden ser maestros normalistas con un área de especialización (física, química o biología), egresados universitarios de áreas relacionadas con la disciplina, por ejemplo químicos farmacobiólogos e ingenieros bioquímicos, y egresados universitarios de otras áreas como veterinaria y odontología. Esta diversidad debe considerarse al plantear un proceso de actualización dado que el conocimiento de estos profesores respecto al área de enseñanza es muy diferente.

Reconociendo estos problemas, la SEP apoyó un proyecto de investigación sobre los CNA y su influencia en la práctica y el conocimiento de los profesores (Flores *et al.*,

* Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior. Ciudad Universitaria. México, D. F. 04510

Correo electrónico: floresf@aleph.cinstrum.unam.mx

Recibido: 19 de octubre de 2005; aceptado: 26 de abril de 2006.

2004a). Los resultados de dicho estudio muestran indicios de que uno de los problemas graves de los profesores es la falta de un conocimiento disciplinar sólido que les permita comprender e interpretar los contenidos propuestos en el plan de estudio. Por tal motivo se llevó a cabo una investigación (Flores, *et al.*, 2004b), con la finalidad de conocer con mayor precisión qué saben y qué problemas de comprensión tienen los profesores de secundaria de ciencias en diversos estados del país. En este artículo se reportan los resultados para los profesores de química. Es importante señalar que aún cuando este tema ha sido investigado en otros países, esta es una de las primeras investigaciones que se publican a este respecto en nuestro país, pero sobre todo con una muestra nacional amplia y considerando para el análisis diversos niveles de comprensión.

Las características del conocimiento de los profesores

El conocimiento que tienen los profesores sobre la materia que enseñan es un elemento central en la formación de profesores, ya que es un factor crítico al momento de tomar decisiones curriculares y pedagógicas (Anderson y Mitchener, 1994). Es ampliamente reconocido (Davis, 2003), que aun cuando el conocimiento disciplinar no es el único factor que distingue a un buen profesor, sí debe ser un elemento central en la formación de profesores, sobre todo cuando los conocimientos del profesor están débilmente fundamentados o son incorrectos.

Shulman (1986) distingue tres categorías de conocimiento del contenido que un profesor requiere para impartir una asignatura: el conocimiento disciplinar del contenido, el conocimiento pedagógico del contenido y el conocimiento curricular del contenido. El conocimiento disciplinar del contenido, del cual nos ocupamos en este trabajo, se define como el conocimiento necesario para enseñar (Grossman, *et al.* 1989). De forma muy simple, se considera como el conocimiento *que se refiere* a la disciplina: información factual, principios organizadores y conceptos centrales. Incluye tanto declaraciones correctas del conocimiento, como las explicaciones que lo avalan y su relación con otros temas.

La relación que existe entre el conocimiento disciplinar del contenido y la enseñanza no está determinada del todo y se considera un asunto muy complejo, influenciado por muchos factores. Sin embargo, muchas de las investigaciones al respecto han encontrado una fuerte relación entre el conocimiento disciplinar de los profesores y su confianza para enseñar ciencia, así como sus actitudes respecto a la ciencia (Rice, 2005). Del mismo modo, McDiarmid, *et al.* (1989) sostienen que el conocimiento de un maestro sobre la materia que enseña favorece o limita las oportunidades de los estudiantes para aprender esa materia.

Cuando un maestro no conoce o no comprende el conocimiento que enseña, la calidad de la instrucción y el potencial de aprendizaje de los alumnos puede verse comprometido, ya que los maestros no reconocen las concepciones alternativas o erróneas de los estudiantes, no son capaces de aclarar sus confusiones o de reconocer ideas novedosas (Rice, 2005). De hecho, en algunos casos se ha encontrado que los profesores sostienen las mismas concepciones alternativas que los estudiantes (Yip, *et al.*, 1998; Kokkotas *et al.*, 1998; Martín del Pozo, 2001; Flores *et al.*, 2004a). Por otro lado, un maestro con un amplio conocimiento de la disciplina tiene mayores posibilidades de diagnosticar puntos claves para el aprendizaje, desarrollar las representaciones de los estudiantes y analizar su pensamiento (Hollon, *et al.*, 1991).

Conocimientos básicos

El conocimiento disciplinar de una asignatura puede ser muy amplio. Sin embargo, existen dentro de éste, algunos conocimientos básicos que no pueden ser obviados ni deficientemente comprendidos por el profesor de secundaria. Holman (2001) menciona que los estudiantes deben comprender ciertos principios básicos de química para, a su vez, comprender los asuntos científicos que afectan a la sociedad, estos son: la idea de que todo esto hecho de átomos y moléculas; la idea de que los compuestos químicos tienen una composición fija e invariante; la idea del cambio químico; y la idea de que las propiedades de las sustancias dependen de su estructura molecular y que su arreglo espacial determina sus propiedades.

A partir de la propuesta de Holman, así como de las de Griffiths y Preston (1992), Gillespie (1997), Garritz (1998) y Taber (2002), podemos señalar que los conceptos y temáticas que se consideran básicos para la enseñanza de la química en secundaria son: materia, energía y sustancia; elementos, compuestos y mezclas; teoría cinético-molecular; cambios químicos y cambios físicos; estabilidad química; enlace químico; reacciones químicas y conservación.

Considerando esos temas y tomando en cuenta el programa oficial de secundaria (SEP, 1993), en este trabajo se abarcaron los siguientes diez temas como básicos para la enseñanza de la química en secundaria: disoluciones, reacción química, mol, termoquímica, estructura atómica, clasificación de las sustancias, teoría cinético-molecular, enlace químico, estequiometría y tabla periódica.

Nuestra intención con este trabajo es hacer un diagnóstico, lo más profundo posible, sobre las concepciones y los problemas conceptuales de los profesores de química de secundaria, así como sobre su nivel de dominio en lo que hemos considerado conocimientos básicos de la disciplina.

Metodología

Como ya hemos mencionado, esta investigación se realizó como seguimiento a una investigación previa (Flores *et al.*, 2004a), y para ello se contó con el apoyo de la Dirección General de Actualización Docente de la SEP, que fue la encargada de convocar a los profesores en los distintos estados. La muestra no es representativa de la totalidad de profesores de química del país, sin embargo, al considerar profesores en diez estados diferentes, y con distintas características, presenta un panorama general acerca de la situación nacional de los profesores de química.

Población. La muestra fue aleatoria en términos del tipo de población que atienden (urbana o rural), sexo, edad y formación inicial (Escuela Normal o Universidad) y consistió de 152 profesores. La siguiente tabla muestra la población por estado.

| Estado | Población |
|----------------|-----------|
| Aguascalientes | 25 |
| Guerrero | 18 |
| Hidalgo | 17 |
| Tlaxcala | 13 |
| México | 8 |
| Nayarit | 21 |
| Sonora | 20 |
| Sinaloa | 5 |
| Tabasco | 9 |
| Veracruz | 16 |
| Total | 152 |

Instrumentos. Se construyeron dos cuestionarios (A y B) de preguntas abiertas (en su mayoría), considerando los temas descritos. Cada uno de los diez temas fue evaluado con tres preguntas de diferente complejidad, profundizando a partir del conocimiento mínimo correspondiente con el programa de secundaria y culminando con un nivel equivalente al del bachillerato (para ese tema específico). Los cuestionarios se elaboraron por especialistas en química y educación y se realizó una prueba piloto para validarlos. Se les practicó una prueba de confiabilidad, obteniendo un coeficiente de confiabilidad alpha de Cronbach de 0.86 para el cuestionario A y de 0.76 para el cuestionario B.

La mitad de los profesores respondió el cuestionario A y la otra mitad el B. Adicionalmente se llevaron a cabo 48 entrevistas, con una duración aproximada de una hora, para profundizar en las respuestas de los profesores que se transcribieron para su análisis.

Se realizó un análisis cuantitativo de los cuestionarios en el cual se asignó una calificación a cada una de las respuestas por dos evaluadores diferentes, para poder determinar el nivel del dominio de la disciplina y de cada uno de los temas. Por otro lado, el análisis cualitativo pretende dar cuenta de los problemas específicos de comprensión conceptual de los profesores, considerando las concepciones alternativas, los errores conceptuales y la relación entre conceptos.

Descripción y análisis de resultados

Se llevó a cabo un análisis estadístico del cual se obtuvieron datos sobre el nivel de dominio de la disciplina y por tema. Los resultados obtenidos demuestran que los profesores no poseen un adecuado nivel de dominio de la asignatura que enseñan, dado que la calificación media fue de 36.5 sobre 100 (desviación estándar 17.37 que indica una muestra muy heterogénea en sus resultados). Se estableció una prueba estadística (comparación entre medias) para determinar si existe o no correlación entre los niveles de dominio y las variables: sexo, edad, estado de procedencia, formación inicial, nivel máximo de estudios y tipo de población (urbana o rural). Sólo se encontró un caso en el que la diferencia entre resultados fue significativa y es la formación inicial. Así, los profesores que habían estudiado una licenciatura universitaria en un área directamente relacionada con la química (química, ingeniería química, química industrial, entre otras), presentaron un dominio de la asignatura significativamente mayor ($F = 3.8$; $p < 0.001$), que el de los profesores egresados de la Escuela Normal Superior, o de otras licenciaturas universitarias (agronomía, ingeniería, odontología, entre otras).

En cuanto al nivel de dominio por temas, se encontró que los profesores tienen un mayor nivel en aquellos ámbitos más relacionados con los aspectos, que podemos considerar más fenomenológicos de la disciplina, por ejemplo, disoluciones (58.12%), que en aquellos temas que requieren mayor capacidad de abstracción como mol (23.71%) y estructura atómica (20.69%).

A continuación se presentan los datos obtenidos para siete temas básicos: clasificación de las sustancias, teoría cinético-molecular, reacción química, estequiometría y nomenclatura de las reacciones químicas, termoquímica, mol y tabla periódica. El tema de disoluciones se analiza junto con el de teoría-cinético molecular. En el caso de los temas de estructura atómica y enlace químico, los datos obtenidos no permitieron un análisis cualitativo, por lo tanto no se discuten. En la presentación de los resultados para cada tema se explica a qué se refieren los reactivos correspondientes y se destacan los resultados más importantes, ya sea por el alto grado de incidencia o porque representan la comprensión insuficiente o errónea de un aspecto esencial del conte-

nido básico. En todos los casos, la información se apoya con fragmentos de las entrevistas (marcadas al comenzar con la palabra ‘Entrevistador’ y ‘Maestro’ en negritas y los diálogos en cursiva) y los cuestionarios (respuestas entre comillas). Finalmente se presenta una integración de todos los temas, en donde se destacan problemas conceptuales que pueden afectar la mayoría de los temas que se enseñan en este nivel.

Tema 1. Clasificación de las sustancias

Se realizaron tres preguntas en las que se investiga sobre: a) las representaciones gráficas de sólidos, líquidos y gases; b) las diferencias entre una mezcla y un compuesto y la identificación de sus representaciones gráficas; y c) la diferencia entre las interacciones que ocurren entre las partículas cuando dos elementos forman mezclas o cuando forman compuestos.

Los maestros distinguen adecuadamente las diferentes representaciones para gases y sólidos (92%) y para líquidos en menor medida (65%). Sin embargo, no puede asegurarse que pueden explicar estas diferencias en términos de las interacciones entre las partículas en las diferentes fases:

Entrevistador: *Yo congelo 10 g de agua, tengo 10 g de hielo, ¿cómo es el volumen del agua, con respecto al hielo?*

Maestro: *Ocupan diferente volumen, en diferente estado, porque en estado sólido las moléculas están muy adheridas por la fuerza de cohesión, están muy adheridas, están juntitas. No dejan espacios de hecho y en el estado líquido si existen espacios por las dos fuerzas que se encuentran en él, la fuerza de cohesión y la fuerza de rechazo a la vez.*

En cuanto a la distinción y representación gráfica de una mezcla, elemento y compuesto, se observó que los elementos, en general, son adecuadamente identificados dado que se reconocen como formados por partículas iguales. Existe sin embargo confusión entre las representaciones de los compuestos y de las mezclas porque se considera que si existen dos partículas diferentes, puede ser tanto una mezcla como un compuesto.

En la tercera pregunta se encontró, en términos generales, que los elementos, las mezclas y los compuestos se caracterizan solamente por sus componentes y no por la interacción que existe entre ellos. En las mezclas no se reconoce la interacción entre los componentes, sino que las mezclas y compuestos se diferencian con base en lo que las compone: “los compuestos están formados por elementos, las mezclas están formadas por compuestos”, o distinguiendo una mezcla de un compuesto en términos de su facilidad de separación: “los compuestos son difíciles de separar y las mezclas no”.

Tema 2. Teoría cinético-molecular

Se hicieron cinco preguntas para investigar las explicaciones de los maestros a diversos fenómenos cotidianos: a) lo que ocurre con las partículas dentro de un globo cuando éste se calienta; b) la razón por la que se condensa agua en la parte externa de un recipiente al cambiar la temperatura; c) el cambio en el volumen del hielo cuando se derrite; d) las propiedades que se conservan para una muestra de sustancia y para un solo átomo de ésta; y e) el cambio que sufren las partículas cuando un líquido se evapora.

De las respuestas de los profesores, es notorio que no poseen un dominio del modelo-cinético molecular de la materia si bien, conocen sus premisas básicas (existencia de partículas, vacío entre éstas y movimiento constante), cuando lo utilizan para explicar un fenómeno lo hacen a través de numerosas concepciones alternativas, de las cuales podemos resaltar:

1. Las partículas conservan las propiedades macroscópicas de las sustancias

Muchas respuestas consideran que las partículas tienen las mismas propiedades que las sustancias, por ejemplo 57% de los profesores elige como respuesta: “*las propiedades físicas de una muestra de azufre son iguales que para un solo átomo de azufre*”. En el siguiente fragmento de entrevista puede verse cómo se confieren propiedades macroscópicas las partículas:

Entrevistador: *Digamos esto, cuando una sustancia se calienta, qué le pasa a la sustancia, acá hay aire, adentro del tubo está el globo, lo calientas y se va inflando, ¿por qué? ¿qué es lo que le pasa a una sustancia cuando se calienta?*

Maestro: *Bueno $\frac{1}{4}$ se evapora*

E: *¿Qué es lo que se evapora?*

M: *Al calentarlo, [el globo] las moléculas se expanden, se evaporan, hacen un ciclo y al calentarse el aire que estaba ahí, el oxígeno que estaba ahí en ese aparentemente vacío se expande y sube.*

Solamente el 26% de los maestros reconocen que las propiedades químicas son las únicas que se conservan tanto para un átomo como para una muestra de sustancia. La mayoría de los profesores (aprox. 70%) sostienen que el punto de fusión o la densidad son iguales para un solo átomo y para la sustancia en su conjunto.

Entrevistador: *Y en el caso del azufre, si pudiera tomar un solo átomo de una muestra de azufre, ¿por qué dice que se conservan las propiedades? [Físicas y químicas]*

Maestro: *($\frac{1}{4}$) porque es del mismo elemento, no se puede alterar el elemento. El azufre, sus átomos son los mismos y como es un mismo átomo debe ser igual $\frac{1}{4}$*

2. Dificultad para concebir el vacío entre partículas

Si bien, muchos maestros declaran conocer que entre las partículas hay vacío, cuando se profundiza en la entrevista, se encuentra, por el contrario, que consideran que entre las partículas hay un medio continuo (aire u otra sustancia) que no puede verse. Por ejemplo:

Entrevistador: *¿Qué hay entre las partículas que están en el globo?*

Maestro: *son espacios intermoleculares, son ocupados por el aire, por el agua (1/4)*

E: *aquí por ejemplo, usted dibujó cinco partículas y dibujé tres, ¿qué hay entre estas (1/4)?*

M: *son espacios intermoleculares, no hay nada*

E: *no hay nada (1/4)*

M: *puede ser un vacío en este caso o puede ser el mismo aire (1/4)*

Otro ejemplo:

Entrevistador: *(1/4) aquí yo tengo aire dentro del tubo y del globo, ¿qué hay entre esas partículas?*

Maestro: *espacios, espacios pero también los llena otro gas. Porque existen diferentes gases, como el oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, helio, neón, los gases inertes. Esas partículas de CO₂, existen otras partículas, pero están llenas completamente de gas 1/4*

E: *están llenas de gas 1/4*

M: *si, están llenas completamente de gas, no hay espacios*

E: *entonces no hay espacios, entre esas partículas*

M: *no, los está llenando otro gas*

3. Las partículas se transforman al cambiar de fase

El 32% de los profesores considera que las moléculas se transforman cuando cambian de fase. Esto puede relacionarse con aquellas concepciones que consideran a las partículas como estáticas, dado que no se puede explicar el cambio en las propiedades de una sustancia a menos que también cambien las partículas que forman esa sustancia: *“El frío causa que el oxígeno y el hidrógeno que están en el aire se combinen y formen agua que se deposita en el vaso”*.

4. Las partículas se conciben como estáticas mientras no exista un agente externo que las obligue a moverse e interactuar

La disolución de azúcar en agua se explica solamente si hay agentes externos que la ocasionan. Las premisas de la teoría cinético-molecular (movimiento constante de las partículas, vacío e interacción entre éstas), no son consideradas por un elevado número de profesores (43%) al explicar cómo ocurre el proceso de disolución. Por ejemplo, aseguran que: *“Si no se calienta o se agita, el azúcar en la disolución se sedimenta”*, o bien: *“Al agregar azúcar al agua y agitarlo la solubilidad se favorece debido a la presión”*.

En los casos en los que se pide que los profesores expliquen el fenómeno de disolución cuando no se agita ni se calienta la disolución, solamente el 30% elabora una explicación a nivel corpuscular, el resto atribuye este proceso a características intrínsecas de las partículas (solubilidad), o bien genera una explicación circular tal como: *“Se disuelve porque es soluble”*.

Tema 3. Reacción química

Se elaboraron dos preguntas para este tema: a) la explicación de una reacción química de precipitación; y b) el reconocimiento de una reacción química a partir de cambios en el sistema.

El resultado más notable es el número reducido de profesores (20%) que explican una reacción química en términos de partículas, aún cuando la pregunta lo solicita expresamente, por ejemplo *“en una reacción de precipitación los átomos intercambian electrones”*. La mayoría de las ideas expresadas a este respecto se relacionan con el tipo de sustancias que participan: *“Ocurre una reacción química de precipitación”* o bien, *“Se produce una reacción de doble sustitución”*. Aunque no podemos concluir que los profesores no cuentan con el conocimiento necesario para explicar una reacción de precipitación a nivel corpuscular, es evidente que no están familiarizados con esta forma de explicación.

En cuanto a la segunda pregunta, los profesores asocian cambios de apariencia como indicativos contundentes de una reacción química, sobre todo el caso del color (59%): *“Un cambio de color indica que hay una reacción química aún cuando el resto de las propiedades permanezca constante”*; mientras que el cambio de masa en un sistema es indicativo sólo para el 22% de los profesores.

Adicionalmente, algunos profesores presentan confusión entre las mezclas y las reacciones.

Entrevistador: *¿Podría explicarme que pasa a nivel microscópico [en una reacción química de precipitación]?*

Maestro: *“Las moléculas en un momento dado se combinan y es lo que en un momento dado se forman solitos y en un momento se separan (1/4), se está llevando a cabo una mezcla en este caso, heterogénea donde se puede distinguir el resultado de la combinación de la mezcla que se va al fondo y la otra parte se queda.”*

Tema 4. Estequiometría y nomenclatura de las reacciones químicas

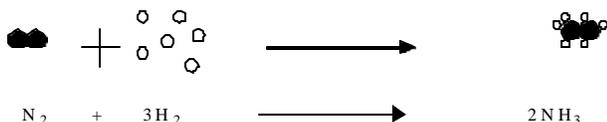
En este tema se indagó sobre: a) la traducción de un enunciado a una ecuación química y su balanceo; b) la representación de una ecuación utilizando símbolos que representan los diferentes átomos; c) la conservación de la masa, número de átomos, moléculas y moles en las reacciones y d) la aplicación del concepto de reactivo limitante.

La reacción presentada es la síntesis de amoníaco a partir de hidrógeno y nitrógeno gaseosos, de los cuales únicamente se proporcionaba la fórmula para el amoníaco (NH_3).

Los resultados de estas preguntas muestran que el 48% de los profesores puede escribir la reacción de manera correcta y balancearla, sin embargo, el resto de los profesores presenta diversos problemas, como simbolizar los gases como partículas monoatómicas (10%) o considerar el producto de una reacción como la adición de los reactivos (17%), por ejemplo:



Esto indica que los profesores no tienen claro el significado de los subíndices y coeficientes en las fórmulas, por lo que los símbolos de los elementos y el número de éstos es suficiente para representar y balancear una reacción, sin considerar la estructura de las moléculas. El siguiente esquema, realizado por un profesor, representa esta situación.



Maestro: La molécula [2NH_3] está compuesta por dos átomos de nitrógeno, es como una organización, esos dos átomos de nitrógeno están unidos respectivamente a tres átomos de hidrógeno, entonces, la molécula es una organización, no tienen que estar separados deben estar unidos porque están formando una molécula, están enlazados.

En lo que respecta a reactivo limitante, el problema presentado, sólo pudo ser resuelto de forma correcta por el 14.5% de los profesores, lo que muestra que no tienen un manejo sobre el tema.

Tema 5. Termoquímica

Se plantearon tres preguntas en las que se pedía explicar: a) por qué dos sustancias tienen una velocidad de calentamiento diferente; b) de dónde proviene la energía generada en una reacción química; y c) por qué una reacción exotérmica requiere energía para comenzar.

El 83% de los profesores respondieron de manera insuficiente, por ejemplo sobre la razón por la cual dos sustancias tienen una velocidad de calentamiento diferente, expresan: “Porque tienen distinta estructura” o “Porque tienen diferentes fuerzas de cohesión”. En general los profesores no consideran la interacción entre las partículas como la fuente de los cambios en las sustancias y tienden a utilizar propiedades

más generales para explicar los fenómenos. Por ejemplo, atribuir la diferencia en la velocidad de calentamiento a la diferencia en la densidad de las sustancias, o simplemente mencionar el punto de ebullición (33%) como explicación suficiente para esta diferencia.

En lo que respecta a la energía generada en una reacción química, el número de maestros que expresan que el calor generado en una reacción tiene relación con la formación y rompimiento de enlaces es muy bajo (4%), parece ser un tema poco abordado por los maestros, por lo cual atribuyen el calor generado a ciertas propiedades de las sustancias que participan (es combustible o comburente, 59%) o, relacionan el calor con el movimiento de las partículas o los choques moleculares (18%).

Al explicar por qué una reacción exotérmica requiere energía para comenzar, el 67% de los maestros expresan que siempre se requiere una chispa (calor, punto de ignición) para iniciar una reacción, pero no se encuentra un mecanismo que permita explicar a qué se debe que se utilice energía en una reacción (requiera calentamiento) y al mismo tiempo se transfiera (reacción exotérmica). Así mismo, parece existir una concepción de que en las reacciones endotérmicas no hay energía involucrada. Llama la atención que el 26% no contestó o lo hizo con argumentos que no correspondían a la pregunta. El resto respondió que “el que una reacción ocurra se relaciona con el movimiento molecular” (5%), y “una reacción ocurre debido a propiedades intrínsecas de las sustancias involucradas” (3%).

Tema 6. Mol

Se diseñaron tres preguntas acerca de: a) la definición del mol; b) su aplicación en cálculos; y c) la utilidad del concepto en la enseñanza de la química. Para el análisis de este tema se integraron los resultados de las tres preguntas, ya que de esta forma se obtenía mayor información. Los porcentajes en este rubro se obtuvieron del conteo de respuestas en relación con el total de profesores que contestaron el cuestionario y por esta razón las sumas de los porcentajes no dan 100%.

Se encontró que para algunos maestros, el mol es una definición que no tiene significado físico. Entre las respuestas más comunes encontramos: “el mol es la unidad mínima” (41%), “el mol es una unidad química” (19%) o “el mol es una cantidad de materia” (44%), “el mol es la masa molecular” (33%).

En cuanto a la importancia del mol, las respuestas de los profesores son muy diversas. Podemos destacar:

1. [el mol] “ $\frac{1}{4}$ ayuda a comprender la cantidad de materia, moléculas o átomos presente en una concentración de sustancias” (29%).
2. “el mol es importante para explicar las reacciones químicas” (22%).

3. “el mol es importante para poder entender la expresión del peso molecular como g/mol” (9%).

La mayoría de ellas se concentra en el hecho de que se puedan llevar a cabo “cálculos” con el mol, lo cual puede reflejar el tipo de tratamiento que se hace de este concepto en las clases de secundaria:

Entrevistador: *¿Y el mol sirve aquí, o sea lo usa aquí en las reacciones?*

Maestro: *Pues depende, en segundo año pues no, el mol como que para segundo año no ($\frac{1}{4}$) es una unidad en química que representa la masa molecular en gramos. Pero si le hablo de gramos pues casi estoy hablando de moles. Para no confundirlo pues uso nada más gramos. La masa molecular nada más.*

Los maestros, en general, pueden obtener molaridades y calcular pesos moleculares, es decir hacer un manejo algorítmico del número. Por último, podemos señalar que cerca del 30% de los profesores no contestó las preguntas relacionadas con cálculos que involucran el mol.

Tema 7. Tabla Periódica

Este tema se abordó en tres preguntas en las que se buscaba encontrar las concepciones de los profesores al respecto de: a) la importancia de la agrupación en la tabla periódica; b) la razón por la cual los grupos de elementos tienen propiedades similares; c) una explicación del orden que guardan los elementos en la tabla periódica y d) la variación de una propiedad periódica a lo largo de la tabla. Para el análisis de este tema se integraron las respuestas y se agruparon en categorías, así los porcentajes se obtuvieron del conteo de respuestas en relación con el total de profesores que contestaron el cuestionario y por esta razón las sumas de los porcentajes no dan 100%.

En cuanto a la agrupación de los elementos en la tabla periódica los profesores eligieron: el ordenamiento en metales, no metales y gases nobles (39.5%); predecir o conocer las propiedades de los elementos (33%); saber su grupo o su familia (25%); saber la valencia y los niveles de energía (24%), como las más significativas, lo cual muestra una noción clara de la organización y uso de la tabla periódica. Sin embargo, al preguntar acerca del orden estricto en la tabla periódica, solamente el 54% de maestros dio como respuesta el número atómico. El resto mencionó otras características como familias y periodos, masa atómica, etcétera.

En cuanto a la variación periódica de las propiedades, todos los profesores respondieron que al aumentar el número atómico aumenta el tamaño del átomo porque aumenta el número de electrones, lo cual puede sugerir que la visión del átomo es de esferas rígidas con electrones en órbitas de

radios fijos y cuyo radio necesariamente aumenta al aumentar el número de electrones.

Problemas conceptuales transversales: integración de resultados

Un aspecto que nos gustaría resaltar es que los profesores no recurren a explicaciones a nivel corpuscular, aún cuando las preguntas explícitamente piden una explicación en esos términos. En el caso de las disoluciones, sólo el 50% de los profesores utilizó el nivel submicroscópico en sus explicaciones, así mismo, en las preguntas que se refieren a la relación entre la energía generada en una reacción química, se explican los procesos debido a un agente externo. Por ejemplo, la razón de que ocurran las reacciones es la presencia de calor, o bien, las causas de la disolución son la agitación o el calentamiento y no las propiedades intrínsecas y dinámicas de las partículas.

En los casos en los que los profesores hacen uso de un modelo corpuscular, como ocurre con las mezclas y la formación de compuestos, éstos son explicados como cambios en la configuración de las partículas (más juntas, más separadas), y sólo en contados casos dan cuenta de las interacciones entre partículas. Esto puede relacionarse con el hecho de que los maestros no distinguen los compuestos y las mezclas en términos de diferencias de interacción, sino sólo en base a las sustancias que las componen. En este sentido, muchos de los profesores consideran que las propiedades de las partículas son iguales que las de las sustancias, lo cual limita la elaboración de explicaciones sobre algunas de las propiedades de las sustancias como el punto de fusión o la densidad, porque se consideran como propiedades sin posibilidad de ser explicadas.

Si bien, en casi todos los casos, los profesores fueron capaces de explicitar elementos fenomenológicos pertinentes a las situaciones en cuestión, no siempre pueden explicar estas situaciones a nivel corpuscular. Este es un problema conceptual que impide la comprensión de los fenómenos por lo que las ‘explicaciones’ muchas veces quedan en información o descripciones circulares, del tipo “se disuelve porque es soluble”. La explicación, en estos casos, consiste más en describir y nombrar, que en encontrar razones y relacionarlas (Ogborn *et al.*, 1998).

Otro de los problemas importantes es que los profesores no relacionan de manera satisfactoria la fórmula de las sustancias con su estructura química. Ello se refuerza con la confusión que muestran entre compuestos y moléculas. Sólo el 20% de los profesores representa una reacción muy sencilla utilizando un modelo de partículas. Como se ve en el análisis relacionado con el tema de estequiometría y nomenclatura de las reacciones químicas, un amplio número de profesores no son capaces de establecer relaciones en-

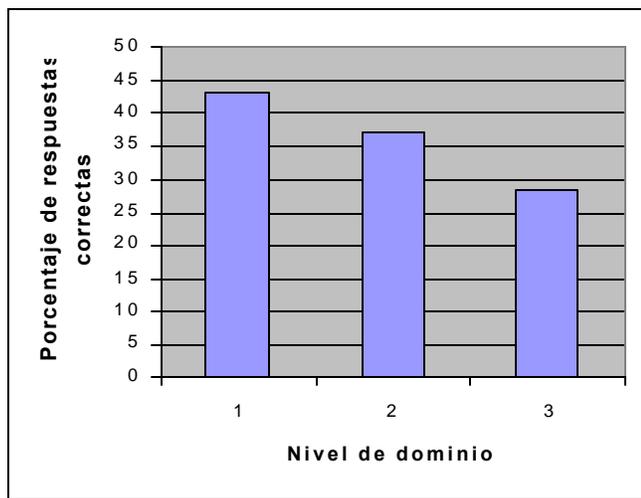


Figura 1. Porcentaje de respuestas correctas en los distintos niveles de dominio.

tre los tres ámbitos de la química: microscópico, macroscópico y simbólico (Gabel, 1993), lo cual puede generar problemas importantes de interpretación y comprensión de la disciplina.

En la figura 1 se muestra cómo el nivel de dominio de los profesores disminuye considerablemente conforme aumenta el nivel de complejidad de las preguntas (Nivel 1-Nivel 3), lo cual se puede relacionar con el conocimiento superficial que tienen los profesores de los distintos temas y que, en muchos casos, no les permite ir más allá del conocimiento mínimo necesario para el nivel secundaria, lo cual no favorece el desarrollo conceptual de los estudiantes.

Consideraciones finales

Si bien es cierto que el conocimiento de la disciplina que los profesores enseñan no es el único factor relevante para la enseñanza como ha sido mostrado ampliamente (Shulman 1986), sí debe ser considerado como un factor muy importante debido a las consecuencias que tiene en la claridad de las explicaciones, y sobre todo, en los recursos conceptuales que permiten o impiden, según sea el caso, a los profesores atender las dudas y problemas de aprendizaje de los alumnos.

A partir de los resultados y su análisis, se reconoce que en muchos casos el conocimiento de los maestros en lo que se han considerado temas básicos de la química resulta ser impreciso, erróneo o solamente declarativo. Es posible pensar entonces que los profesores que participaron en esta investigación, no cuentan con los elementos conceptuales que permiten explicar las propiedades y transformaciones de las sustancias. Esta situación puede impedir que los maestros favorezcan que sus alumnos construyan los concep-

tos de la disciplina y desarrollen procesos de pensamiento relacionados con el conocimiento científico.

También es de hacer notar que las deficiencias en la comprensión de la química que exhiben los profesores, tiene implicaciones negativas para la implantación de reformas educativas como la propuesta en México, donde la adopción de enfoques más centrados en los estudiantes exige una mejor comprensión de los conceptos básicos por parte de los profesores.

Debido a la heterogeneidad de la formación de los profesores y a las deficiencias presentes en la formación básica, es fundamental plantear procesos de actualización que tomen en cuenta lo que los maestros saben y hacen en sus aulas, más allá de declarar las intenciones y dictar la lista de contenidos de la reforma. Los Cursos Nacionales de Actualización (CNA) y sus materiales, cumplen un papel importante dado que son muchos los profesores que tienen acceso a ellos, sin embargo han demostrado no ser el mejor medio para conseguir los objetivos propuestos en la reforma (García, *et al.*, 2005; Flores, *et al.*, 2004c; Gallegos *et al.*, 2004). Uno de los problemas fundamentales, puesto de manifiesto en esta investigación, es el poco dominio que los profesores tienen de la disciplina que enseñan. Mientras los cursos a los docentes y los materiales de actualización (*v. g.* Libro del Maestro), se sigan planteando desde una perspectiva que considere este dominio, es poco probable que se logren las transformaciones deseadas. ■

Referencias

- Anderson, R. D. y Mitchener, C. P., Research on science teacher education, en D. Gabel (ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*, Nueva York: McMillan, 3-44, 1994.
- Cronin-Jones, L. L., Science teachers' beliefs and their influence on curriculum implementation: Two case studies, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(3), 235-250, 1991.
- Davis, A., Knowledge integration in science teaching: analyzing teachers' knowledge development, *Research in Science Education*, **34**, 21-53, 2003.
- Flores, F., Gallegos, L., López, A., Sánchez M., Sosa, P., Alvarado, C., Bonilla, X., García, A., Reachy, B., Rodríguez, D., Valdez, S. y Valladares, L., "Transformaciones conceptuales y pedagógicas en los profesores de ciencias naturales de secundaria: los efectos de los cursos nacionales de actualización". En: *Informes Finales de Investigación Educativa. Convocatoria 2002*. CD-ROM. México, D.F.: SEP, 2004a.
- Flores, F., Gallegos, L., García, A., Valdéz, S., Alvarado, C., Reyes, F., García, B., López, L., Vega, E., Cruz, M., Ulloa, N., Lima, C., y Soto, J., *Conocimientos Básicos e*

- Imagen de la Naturaleza de la Ciencia de los Profesores de Ciencias de Secundaria* (Reporte de Investigación), UNAM, 2004b.
- Flores, F., García, A., Alvarado, C., Sánchez-Mora, M., Sosa, P. y Reachy, B., Análisis de los Materiales Instruccionales de Ciencias Naturales. Sus implicaciones en los cursos nacionales de actualización. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, **20**(9), 199-228, 2004c.
- Gabel, D., Use of the particulate nature of matter in developing conceptual understanding, *Journal of Chemical Education*, **70**, 193-194, 1993.
- Gallegos, L., Flores, F. y Valdez, S., Transformación de la enseñanza de la ciencia en profesores de secundaria. Efectos de los Cursos Nacionales de Actualización. *Perfiles Educativos*, **103**(XXVI), 2004.
- García, A., Flores, F., Gallegos, L., The national in-service courses for science teachers and their effect on educational reform in Mexico, *Journal of Education for Teaching*, **31**(1), 37-46, 2005.
- Garriz, A., Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato. La corriente educativa Ciencia-Tecnología-Sociedad, *Ciencia (Academia Mexicana de Ciencias)*, **49**(1), 27-34, 1998.
- Gillespie, R.J., The great ideas of chemistry, *Journal of Chemical Education*, **74**(7), 862-864, 1997.
- Griffiths, A. K., y Preston, K. R., Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science teaching*, **29**(6), 611-628, 1992.
- Grossman, P. L., Wilson, S. M. y Shulman, L. S., Teachers of substance: subject matter knowledge for teaching, en M. Reynolds (ed.) *Knowledge base for beginning teachers*, Nueva York: Pergamon, 23-36, 1989.
- Hollon, R. E., Roth, K. J. y Anderson, C. W., Science teachers' conceptions of teaching and learning, en J. Brophy (ed.) *Advances in Research on Teaching*, Greenwich, CT: JAI Press, 145-185, 1991.
- Holman, J., All you need to know about chemistry, *Education in Chemistry*, **10**, 10-11, 2001.
- Kokkotas, P., Vlachos, I. y Kouladis, V., Teaching the topic of the particulate nature of matter in prospective teachers' training courses, *International Journal of Science Education*, **20** (3), 291-303, 2003.
- McDiarmid, G. W., Ball, D. L. y Anderson, C. W., Why staying one chapter ahead doesn't really work: subject specific pedagogy, en M. Reynolds (ed.) *Knowledge base for beginning teachers*, Nueva York: Pergamon, 193-205, 1989.
- Martín del Pozo, R., Lo que saben y lo que pretenden enseñar los futuros profesores sobre el cambio químico, *Enseñanza de las Ciencias*, **19**(2), 199-215, 2001.
- Ogborn, J., Kress G., Martins, I., y McGillicuddy, K., *Explaining Science in the Classroom*. Buckingham: Open University Press, 1996.
- Rice, D., I didn't know oxygen could boil! What preservice and inservice elementary teachers' answers to 'simple' science questions reveals about their subject-matter knowledge, *International Journal of Science Education*, **27**(9), 1057-1082, 2005.
- Sánchez, A., Hernández, M. E. y Valdez, R., La educación en ciencias en la escuela secundaria. Situación actual y perspectivas, *Educación 2001*, **69**, 45-55, 2001.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). *Planes y Programas de Estudio. Educación Secundaria*, México, DF: SEP, 1993.
- Serna, O. y Valdez, R., Actualización docente, en: G. Waldegg, A. Barahona, B. Macedo y A. Sánchez (coords.), *Retos y Perspectivas de las Ciencias Naturales en la Escuela Secundaria*, México, DF: SEP, 55-78, 2002.
- Shulman, L. S., Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, **15**, 4-14, 1986.
- Supovitz, J. y Turner, H., The effects of professional development on science teaching practices and classroom culture, *Journal of Research in Science Teaching*, **37**(9), 963-980, 2000.
- Taber, K. S., *Chemical Misconceptions. Prevention, Diagnosis and Cure*. Londres: Royal Society of Chemistry, 2002.
- Yip, D., Chung, C. y Mak, S., The subject matter knowledge in physics related topics of Hong Kong junior secondary science teachers, *Journal of Science Education and Technology*, **7**(4), 319-328, 1998.