RMIE, OCTUBRE-DICIEMBRE 2006, VOL. 11, NÚM. 31, PP. 1175-1205

Investigación temática

CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DEL CONCEPTO DE "REACCIÓN QUÍMICA" EN PROFESORES UNIVERSITARIOS MEXICANOS

FLOR REYES-C. / ANDONI GARRITZ

Resumen:
Se presenta cómo en 1986 Shulman acuña el concepto de "conocimiento pedagógico del contenido" (CPC). Se esboza la importancia que ha adquirido el término en el proceso formativo de profesores y también la relevancia del concepto de "reacción química" (RQ), desde la química introductoria de la secundaria y el bachillerato, hasta los cursos de química general universitaria. Se analiza la documentación obtenida del CPC de cinco profesores del nivel universitario sobre la RQ mediante la metodología de Loughran *et al.*, es decir, por medio de la representación del contenido (ReCo) y los repertorios de experiencia profesional y pedagógica (que denominamos "inventarios"). Los inventarios seleccionados se resumen en dos apéndices.

Abstract:
Shulman in 1986 coined the concept "pedagogical content knowledge" (PCK). A glimpse of the importance of the concept, acquired in the formative process of teachers is presented, besides that of the "chemical reaction" concept in the Chemistry syllabi that covers the basic chemistry concepts from secondary school to college. It is analyzed the documentation of PCK on the chemical reaction concept collected in five General Chemistry Mexican professors using Loughran et al. methodology, that is, by means of the Content Representation (CoRe) and the Pedagogical and Professional experience Repertoires (PaP-eRs, that we call "inventories"). The PaP-eRs that were collected are shown in two appendixes.

Palabras clave: enseñanza de la química, formación de profesores, reacción química, educación superior, base de conocimiento de los profesores, México.
Key words: chemistry teaching, teacher education, chemical reaction, higher education, teacher's knowledge base.

Flor Reyes-C es alumna de la maestría en Pedagogía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Circuito Interior de Ciudad Universitaria, CP 04510, Coyoacán, México, DF. CE: florreyes@gmail.com

Andoni Garritz es profesor de carrera de la Facultad de Química de la UNAM. Facultad de Química, Edificio "B", cubículo 210, Circuito Interior de Ciudad Universitaria, CP 04510, Coyoacán, México, DF. CE: andoni@servidor.unam.mx

Introducción

En 1986 Shulman publicó las primeras ideas sobre la interacción entre el contenido temático de la materia y la pedagogía. Presentó el concepto "conocimiento pedagógico del contenido" (CPC) para referirse al producto de dicha interacción, como un tipo de conocimiento que los profesores de ciencias deben poseer, ya que no sólo tienen que saber y entender el tema científico, sino también cómo enseñar ese contenido específico de forma efectiva. En el CPC incluye "las formas más útiles de representación de las ideas, analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones más poderosas; en pocas palabras, las formas de representación y formulación del tema que lo hace comprensible a otros" (Shulman, 1986:9).

El objetivo de esta investigación es documentar el CPC de cinco profesores del nivel universitario (2 hombres y 3 mujeres) sobre el tema de reacción química (RQ), siguiendo la técnica propuesta por Loughran, Mullhal y Berry (2004). Nuestro interés es contar con documentos (representación del contenido o ReCo) donde los profesores plasmen sus propios objetivos de enseñanza, sus estrategias didácticas y de evaluación, así como las limitaciones más frecuentes del aprendizaje estudiantil, además de otros documentos (inventarios) donde los investigadores narremos el devenir de algunas clases dadas por ellos.

Marco teórico

Los profesores deben conocer bien cuál es el objetivo de su enseñanza; qué es lo que resultará fácil o difícil de aprender por sus alumnos; cuáles son las concepciones alternativas (CA) más comunes en ellos, y cómo organizar, secuenciar, presentar y evaluar el contenido para abastecer los diversos intereses y capacidades de sus alumnos. Todo este conocimiento se resume en el conocimiento pedagógico del contenido (Garritz y Trinidad-Velasco, 2004).

Shulman (1986) propuso un sistema de categorías analíticas para rastrear los orígenes del conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores y que, a su entender, guía su práctica. Estas categorías son de corte epistémico, y el autor propone que para reconocer el perfil del pensamiento docente es necesario identificar tres tipos de conocimiento:

a) del contenido temático del campo o conocimiento disciplinario (CD): se refiere a la cantidad y organización del conocimiento disciplinario *per se* en la mente del profesor;

b) curricular (CC): está representado por el conjunto de programas y por la variedad de materiales para la instrucción a un nivel determinado; y
c) pedagógico del contenido (CPC): que alude al tema de la materia *para la enseñanza*.

Hay que diferenciar el CPC del conocimiento pedagógico general (CPG), el cual es el de principios genéricos de organización y dirección en el salón de clases, el general de las teorías y métodos de la enseñanza.

Una parte importante del CPC es que el profesor conozca las concepciones alternativas de los estudiantes, por lo que realizamos una revisión de las principales referencias de éstas sobre el concepto RQ (Andersson, 1990; Ahtee y Varjola, 1998; Petrucci y Schnetzier, 1998; Taber, 2002; Kind, 2004). En estas investigaciones se muestra que los alumnos presentan un amplio espectro de CA, mismas que los autores de este trabajo hemos reunido recientemente (Balocchi *et al.*, 2005). Se ha demostrado que no sólo los estudiantes tienen CA de la materia y sus transformaciones, que difieren marcadamente del programa de la escuela sino que, además, persisten aun después de que la educación obligatoria ha terminado. Conocer las CA que posee el alumno es un buen punto de partida para mejorar la enseñanza de la química.

Lo que hacen los profesores expertos es transformar el conocimiento disciplinario en formas que sean más accesibles a sus estudiantes, y lo adaptan al contexto del tema específico desarrollando, así, el CPC (Barnett y Hodson, 2001). Lo que se ha vuelto crucial en este tipo de investigación es la importancia de la relación entre lo que los profesores piensan y cómo enseñan.

Carlsen (1999) nos presenta un esquema donde intenta recopilar el CPC a partir de los conocimientos disciplinario y pedagógico general y le da los siguientes cinco elementos:

- Concepciones alternativas de los estudiantes
- Currículo científico específico
- Estrategias instruccionales de tópicos
- Propósitos de la enseñanza
- Planeación y administración de la evaluación

Una buena definición del concepto es la que Talanquer (2004) nos presenta cuando dice que un buen profesor debe poseer el CPC suficiente para:

- Identificar las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema.
- Reconocer las probables dificultades conceptuales de sus estudiantes.
- Reunir preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas.
- Seleccionar experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos centrales.
- Construir explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos.
- Diseñar actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.

Formación de profesores y CPC

Tan pronto como fue presentado el CPC por Shulman surgió la pregunta: "¿cuáles son los tipos de conocimiento que los profesores necesitan para ser efectivos en sus clases?" (Tamir, 1988:99). A partir de ese momento, el concepto empieza a ser usado en el proceso formativo de profesores.

Gess-Newsome y Lederman (1999) y De Jong, Veal y van Driel (2002), en sus estudios de programas de formación de profesores, demuestran que el CPC es adquirido, principalmente, por la propia experiencia en la docencia.

El CPC ha provocado toda una reformulación de los programas de formación de profesores de ciencias. Por ejemplo, De Jong, Korthagen y Wubbels (1998) arriban a las siguientes tres cuestiones prominentes en la formación de profesores en Europa:

- Creciente atención al desarrollo del CD y el CPC de los estudiantes de profesor.
- Incremento del empleo de enfoques que utilizan el cambio conceptual.
- Integración de cursos de teoría (en la universidad), práctica de clases (en el salón) y desarrollo de analogías entre la educación de profesores y la estudiantil.

De Jong, Veal y van Driel (2002) dan cuenta de los trabajos más importantes que se han desarrollado en relación con la formación de profesores y el CPC de varios temas importantes de los cursos de química, como: demostraciones experimentales (Clermont, Borko y Krajcik, 1994), analogías explicativas (Thiele y Treagust, 1994), cantidad de sustancia y cálculos estequiométricos (De Jong, 1992; Stroemdahl, Tullberg y Lybeck, 1994;

Tullberg, Stroemdahl y Lybeck, 1994; Furió *et al.*, 2000). Otro estudio sobre este mismo tópico, pero publicado en español, es el desarrollado por Sánchez y Valcárcel (2000) sobre el concepto de mol. Estos temas están intensamente relacionados con el de la RQ, así como otros artículos más sobre el tema de la enseñanza experimental de la química (De Jong, 1998; Hofstein y Lunetta, 2004; Bond-Robinson, 2005).

Recientemente, De Jong y Van Driel (2004) han investigado cuáles serían los elementos formativos más preciados para acrecentar el CPC de estudiantes-profesores. Se ocupan del tema de la relación *macro-micro* en la educación química y de seguir el desarrollo de dificultades de enseñanza y de aprendizaje. Llegan a la conclusión de lo importante que resulta la incorporación de la práctica docente en el proceso formativo, unida a la discusión de artículos de investigación educativa en talleres de trabajo, por ejemplo sobre los temas de concepciones alternativas de los estudiantes y modos de razonamiento en dominios específicos. De Jong (2002:366) menciona que:

> [...] el foco más débil se ha dado en la investigación del desarrollo profesional de los profesores de química del nivel universitario. Esta área emerge como un "espacio blanco" en la educación de profesores [...]. Con la transferencia de más responsabilidades de la educación de profesores de las universidades a las escuelas, se ha vuelto aún más importante diseñar programas que integren talleres de trabajo con la práctica de la enseñanza.

Este artículo es apenas una muestra de lo que puede obtenerse al documentar el CPC de profesores universitarios en un tema muy importante, aunque específico.

Críticas más importantes a la propuesta de Shulman

Muy pronto surgen críticas a la categorización de Shulman, por ejemplo, la de McEwan y Bull (1991), quienes dudan del valor de la bifurcación del conocimiento disciplinario y el pedagógico del contenido, pues dicen: "¿Es el conocimiento de los profesores acerca de la asignatura de diferente tipo que el de los expertos?", y concluyen que todo tipo de conocimiento es pedagógico, pues "el contenido diciplinario es siempre una expresión de un deseo de comunicar ideas a otros, sea que suceda que sean miembros de la comunidad de expertos, nuevos en el campo o legos." Este debate perdura hasta nuestros días (Segal, 2004).

Kagan (1990) encuentra bases para discutir que la investigación sobre la cognición de los profesores resulta demasiado vaga o ambigua como para promover su uso. Ésta es, en efecto, otra crítica declarada para el empleo del conocimiento pedagógico del contenido, sobre todo como elemento para reconocer la buena y la no tan buena docencia. Kagan nos dice que sólo tiene sentido hablar de buena docencia cuando existe una "validez ecológica", es decir, cuando se mide en términos de lo que afecta la vida en el salón de clase. La autora propone que el actuar de los profesores se mida más con el impacto sobre los estudiantes, en lugar de a través del comportamiento del profesor con una herramienta o en una tarea particular o en su conocimiento.

Cochran, DeRuiter y King (1993) intentan resolver la división artificial de conocimientos de Shulman al hablar de "Pedagogical Content Knowing", en lugar de "Pedagogical Content Knowledge", insistiendo en que lo importante es el conocer y entender del profesor como un proceso activo acerca del aprendizaje de sus estudiantes y del contexto ambiental en el que tiene lugar la enseñanza y el aprendizaje.

Existe otra crítica sobre el marco teórico de Shulman (Fernando Flores, 2005, comunicación personal), que indica que "el CPC no alienta enfoques docentes que utilicen el cambio conceptual". Vale la pena comentar que nos parece que sí ocurre este aliento conforme crece el CPC del profesor, al estar más familiarizado con las concepciones alternativas y las limitaciones del aprendizaje de los estudiantes. Se nos ha expresado otra crítica más recientemente (Néstor Braunstein, 2006, comunicación personal), "¿dónde está el *eros*, es decir, toda la afectividad requerida para el proceso de enseñanza-aprendizaje entre el docente y el alumno en el CPC?" Debemos decir que, desde este punto de vista, la propuesta de Shulman es fría, al no considerar estos aspectos afectivos.

Importancia del concepto de RQ en la estructura curricular

A uno le encantaría decidir sobre el contenido de los cursos de química con base en una encuesta en la que pidiéramos a químicos y educadores muy renombrados que nos dijeran cuáles son las ideas más importantes de esta ciencia. Afortunadamente hay quienes las han expresado por diversos medios (entre otros, Spencer, 1992; Gillespie, 1997; Garritz, 1998; Caamaño, 2003; Atkins, 2005). Comentaremos brevemente sobre sus propuestas y el papel en el que interviene el concepto de RQ.

Para empezar, Spencer (1992) nos propone las siguientes cuatro componentes del currículum central (*Core curriculum*) del primer curso de química general universitaria:

1) Los átomos se conservan (el modelo atómico, modelo periódico).
2) Enlace (modelos para compuestos iónicos; modelos para compuestos covalentes).
3) La energía se conserva (teoría cinético-molecular, teoría cinética de los líquidos, la primera ley).
4) La entropía del universo aumenta (la segunda ley, tipos de reacciones).

Vemos que Spencer coloca el tema de los tipos de RQ dentro del cuarto componente.

Al discutir los temas que deben entrar en el curso universitario de química general, Ronald Gillespie (1997) nos habla de las "grandes ideas de la química" e incorpora entre ellas a la RQ:

1) Átomos, moléculas e iones
2) El enlace químico: ¿qué mantiene a los átomos juntos en moléculas y cristales?
3) Forma molecular y geometría: química tridimensional
4) Teoría cinética
5) La reacción química
6) Energía y entropía

Este canadiense –autor de la teoría de repulsión de pares electrónicos en la capa de valencia, base muy simple para la comprensión de la estructura molecular, y autor de varios libros de texto– nos explica que la quinta idea es la más importante de las seis porque el corazón de la química es la RQ, que define con ayuda del enfoque submicroscópico (Gillespie, 1997:863) de la siguiente manera:

> Las reacciones ocurren porque las moléculas se están moviendo y cuando se golpean con violencia suficiente unas contra otras los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas. O una molécula que está vibrando con violencia suficiente puede romperse en moléculas más pequeñas.

Garritz (1998), por su parte, nos da sus siete ideas centrales de la química, preocupado por el establecimiento de estándares nacionales para la educación química en el bachillerato:

1) El concepto de materia y su conservación
2) Reacciones químicas: análisis y síntesis
3) Modelo atómico-molecular
4) Periodicidad
5) Conceptos, dicotomías y modelos de estructura y reactividad
6) Química del carbono
7) Energía

En relación con el segundo tema, que es el de interés para este estudio, dice:

> **Reacciones químicas**. Durante un fenómeno químico se producen nuevas sustancias total o parcialmente, pero al final se obtiene la misma cantidad de materia elemental que al inicio. Se abordarán las operaciones de síntesis y análisis químico, gracias a las cuales puede saberse ya sea de qué está compuesta una muestra de materia o cómo obtener nuevos productos para satisfacer las necesidades humanas. Se desembocará en los conceptos de elemento y compuesto (Garritz, 1998:31-32).

Caamaño (2003) pone las ideas centrales de la química para la enseñanza secundaria con base en preguntas. Veamos cómo incluye el tema de la RQ en sus dos últimas:

1) ¿Cómo podemos clasificar la diversidad de sistemas y cambios químicos que se presentan en la naturaleza?
2) ¿Cómo está constituida la materia en su interior?
3) ¿Qué relación existe en las propiedades de los materiales y su estructura, es decir, entre sus propiedades macroscópicas y las propiedades de las partículas que los constituyen?
4) ¿Cómo transcurren las reacciones químicas?
5) ¿Por qué ciertas sustancias muestran afinidad por otras?, ¿por qué ciertas reacciones tienen lugar de forma completa y otras se detienen antes de llegar a completarse?, ¿qué criterios rigen la espontaneidad de los cambios químicos?

Luego nos da un listado de seis "conceptos y teorías clave más importantes de la química", donde incluye la RQ en los subtemas de los puntos 5 y 6:

1) La materia desde el punto de vista macroscópico
2) La materia desde el punto de vista microscópico
3) Relación entre los niveles macroscópico y microscópico de la materia
4) Lenguaje químico
5) Reacción química
6) Sustancias y tipos de reacción química.

Finalmente, el prolífico escritor Atkins (2005) acaba de entregar a la Sociedad Americana de Química, en forma de conferencia, las ideas más importantes de esta ciencia, que son el corazón de la educación en química. Las ha resumido en nueve, las dos últimas se relacionan con el tema de este estudio:

1) La materia es atómica
2) Los elementos exhiben periodicidad
3) Los enlaces químicos se forman cuando los electrones se aparean
4) Forma molecular
5) Existen fuerzas residuales entre las moléculas
6) La energía se conserva
7) La entropía tiende a crecer
8) Existen barreras para reaccionar
9) Hay sólo cuatro tipos de reacción química

Como resumen de esta sección, podemos ver que la RQ se encuentra entre los conceptos más importantes en la enseñanza de la química desde el nivel de la secundaria hasta el universitario.

Metodología

Se escogieron cinco profesores (3 mujeres y 2 hombres) destacados del nivel de licenciatura con una antigüedad promedio de treinta años, que hubieran impartido al menos durante diez años la asignatura Química general y que se caracterizaran por involucrarse en un tipo de enseñanza centrado en los estudiantes, o sea, uno no tradicional. Los cinco profesores tienen como muestra de su experiencia libros de texto y de experimentación sobre el tema, algunos de amplia circulación.

La metodología aplicada para documentar el CPC de los profesores fue la representación del contenido (ReCo) y los repertorios de experiencia profesional y pedagógica (Re-PyP) informados por un grupo australiano de investigación educativa (Loughran *et al,* 2001; Loughran, Mulhall y Berry*,* 2004).

La ReCo establece y discute el entendimiento de los profesores de ciencias sobre aspectos particulares del CPC, empezando por declarar las ideas centrales alrededor del tema específico; la importancia de que los alumnos las adquieran; el conocimiento de las CA de los estudiantes; los puntos conocidos de confusión en ellos; la secuenciación efectiva; las estrategias didácticas empleadas para presentar las ideas y las formas perspicaces de evaluar la comprensión de las mismas.

Por su parte, los Re-PyP son ensayos narrativos del CPC de un profesor para una pieza particular de contenido; en este artículo preferimos la palabra "inventarios" en lugar de Re-PyP, como se ha usado en otro trabajo (Raviolo y Garritz, 2005). Cada inventario debe "retratar" el pensamiento del profesor y estar basado en observaciones de clase o discusiones con colegas y comentarios hechos durante las entrevistas en las que se desarrolla la ReCo.

Un inventario refleja, por lo tanto, la riqueza y el razonamiento del maestro; es un ejemplo concreto de aspectos de enseñanza y aprendizaje de un tema en particular; ofrecen una forma de capturar la naturaleza holística y la complejidad del conocimiento pedagógico del contenido.

Cada profesor fue entrevistado con el primer propósito de aclarar lo que debería considerarse como "ideas centrales" en el cuestionario (tabla 1) que nos proponen Loughran, Mulhall y Berry (2004). A este respecto se les aclaró que éstas son los tópicos que forman parte del conocimiento disciplinario en los que ellos acostumbran dividir la enseñanza del concepto de RQ. Se trata de que en ese conjunto de ideas estén reflejadas las más importantes del tema a impartir, o de sus precedentes, y que constituyan un referente importante de la manera en que dividen en porciones sus clases. A continuación se procedió a leer las ocho preguntas de la tabla 1 intentando con ejemplos aclarar a qué se refieren, qué es lo que se busca con esta investigación y contestar todas las preguntas que les surgieran. Se les dieron tres semanas para responder individualmente el cuestionario. Pasado ese tiempo se revisó su trabajo para ver si habían seguido adecuadamente las instrucciones (solamente en uno de los cinco casos se pidió que el profesor revisara sus respuestas y las reformulara) y se comenzó el análisis resaltando la información más relevante de cada ReCo elaborado.

TABLA 1
Base para las entrevistas

¿Cuáles son las ideas científicas que se encuentran en el centro del tema "Reacción química" (RQ)? Es decir, seleccione entre tres a cinco ideas en las que acostumbre dividir la enseñanza del concepto de RQ. Se trata de que en ese conjunto de ideas estén reflejadas las más importantes del tema a impartir, o de sus precedentes.

PARA CADA UNA DE ESTAS IDEAS RESPONDA LAS SIGUIENTES PREGUNTAS:

1. ¿Qué intenta que aprendan los alumnos alrededor de esta idea?
2. ¿Por qué es importante que los alumnos sepan esta idea?
3. ¿Qué más sabe respecto a esta idea? (y que no incluye en sus explicaciones a sus alumnos)
4. ¿Cuáles son las dificultades/limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?
5. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los alumnos influyen en su enseñanza de esta idea?
6. ¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?
7. ¿Cuáles procedimientos de enseñanza emplea? (y las razones particulares de su uso con esta idea).
8. ¿Qué formas específicas de evaluación del entendimiento o de la confusión de los alumnos emplea alrededor de esta idea?

A este respecto, en dos de los casos se aprovechó una segunda entrevista, de unas dos horas, para ampliar la información recibida de algún aspecto interesante citado en la ReCo. La conclusión fue asistir a dos clases de los profesores, las que se transcribieron por completo:

- una clase en la que una profesora empleaba demostraciones experimentales y enseñanza práctica para familiarizar a los alumnos con reacciones químicas vistosas; y
- una clase teórica donde uno de los profesores revisaba las definiciones de varios conceptos centrales de la química, con el interés de alcanzar una definición adecuada de cambio físico y cambio químico y una delimitación de los conceptos de "sustancia" y "reacción química".

Se pidió autorización para entrar a las clases de ambos profesores y desarrollar un inventario sobre esos aspectos particulares de su proceso de enseñanza. En los apéndices de este trabajo pueden consultarse los resúmenes de ambos.

Resultados

En relación con las dificultades de la enseñanza de la química, Gabel (1999) nos dice que:

> La complejidad de la química tiene implicaciones para la enseñanza de la química hoy. [Y hace alusión específica a que] la química es un tema muy complejo [como] lo muestra la investigación sobre resolución de problemas y sobre concepciones alternativas que ha dominado el campo durante los quince años anteriores. Para casi cualquier tópico que es enseñado en los cursos introductorios de química se han conducido investigaciones sobre la identificación de concepciones alternativas [...] Muchos de los conceptos estudiados en la química son abstractos y son inexplicables sin el uso de analogías o modelos.

Veamos qué analogías, modelos, ejemplos, demostraciones, etcétera, proponen estos cinco profesores para encarar las dificultades de la enseñanza de la química.

Para empezar, encontramos en ellos un gran abanico de ideas centrales citadas para la enseñanza de la RQ (tabla 2). Vemos que algunas de ellas son tópicos demasiado específicos sobre el tema o sus antecedentes y que han sido informadas con demasiada brevedad, como, por ejemplo, la "formula única para cada sustancia" o "la Ley de Coulomb".

TABLA 2

Ideas centrales de los cinco profesores entrevistados

Ideas centrales	Profesor 1	Profesora 2	Profesora 3	Profesor 4	Profesora 5
Formación de nuevas sustancias		Formación de nuevas sustancias		RQ: unas sustancias iniciales se transforman en otras nuevas sustancias	Formación de nuevas sustancias
Tipos de reacciones		Tipos de reacciones	Clasificación de las reacciones	Tipos de reacciones químicas	
Representación de reacciones		Representación simbólica de una reacción		Una RQ real se representa por medio de una ecuación química	Representación de reacciones

Ideas centrales	Profesor 1	Profesora 2	Profesora 3	Profesor 4	Profesora 5
Relaciones cuantitativas de la reacción química y balanceo de ecuaciones	Balanceo	Relaciones cuantitativas del cambio químico	Nomenclatura y estequiometría	Balanceo de una ecuación química	Relaciones en masa y en cantidad de sustancia, reactivo limitante, rendimiento, pureza de los reactivos, etc.
Conservación de la masa o de los átomos	Conservación de núcleos y electrones (conservación de la masa)	Conservación de la masa		Conservación de la masa. Sólo cambia la forma en la que están asociados los átomos	Conservación de la masa Conservación de los átomos
Naturaleza corpuscular de las sustancias	Naturaleza corpuscular de las sustancias				
Naturaleza eléctrica de las partículas	Naturaleza eléctrica de las partículas				
Ley de Coulomb	Ley de Coulomb				
Conservación de la energía	Conservación de la energía				
Tabla periódica			Tabla periódica		
Enlace y equilibrio químico			Enlace químico y equilibrio químico		
Fórmula única para cada sustancia				Fórmula única para cada sustancia	
Discontinuidad de la materia					Discontinuidad de la materia
Conceptos de sustancia, átomo y molécula					Conceptos de sustancia, átomo y molécula
El concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol					El concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol

La tabla 3 muestra las ideas centrales más recurrentes de los cinco profesores (las que tienen entre tres y cuatro menciones por los mismos) y las comparamos con las que presentan docentes australianos (Mulhall, Berry y Loughran, 2003). Encontramos un paralelo entre los primeros tres renglones de la tabla, es decir, tres de las cinco ideas centrales parecen ser iguales entre nuestro grupo de profesores y el australiano. Resulta notable que en el trabajo australiano no aparezcan ideas centrales como las referidas a los aspectos submicroscópicos o la conservación de la masa, que sí encontramos informadas en este estudio.

TABLA 3
Comparación entre ideas centrales de profesores mexicanos y australianos

Investigación mexicana	Investigación australiana
Formación de nuevas sustancias	En una reacción química (una o más) nuevas sustancias se producen
Tipos de reacciones	Existen patrones para muchas reacciones químicas
Representación de reacciones	Las ecuaciones describen a los reactivos y los productos en una reacción química
Relaciones cuantitativas de la reacción química y balanceo	Las sustancias químicas pueden ser representadas por fórmulas
Conservación de la masa o de los átomos	Los productos químicos orgánicos contienen carbón

En cuanto a las cinco ideas centrales comunes que recogimos en esta investigación, a continuación colocamos algunas de las expresiones incluidas en la ReCo por los profesores y las comentamos en conexión con algunas recomendaciones didácticas que se han dado en artículos recientes.

1) En relación con la idea central de "conservación de la materia" y con la pregunta 2 del cuestionario de la tabla 1, que se refiere a la importancia del tema para los estudiantes, transcribimos a continuación lo expresado por tres de los profesores:

> La parte fundamental en este aspecto es que los estudiantes aprendan que durante una reacción química se forman nuevas sustancias cuyas propiedades son muy diferentes a las de aquellas de las que partieron, y que en ese proceso, la masa se mantiene constante si la reacción se lleva a cabo en un sistema cerrado.

> La necesidad de dar nombre a los compuestos químicos. De introducir las leyes de la conservación de la masa en las reacciones químicas. Que comprendan el

> significado de las fórmulas químicas y de las ecuaciones químicas. De hacer énfasis en la importancia de la utilización del concepto de mol.
>
> A pesar de que aparecen nuevas sustancias, la masa se conserva en una reacción química.

El concepto de conservación de la materia entra en contradicción aparente con el hecho de que en una reacción química se transformen unas sustancias en otras (Kind, 2004). No obstante, ambos aspectos (la aparición de nuevas sustancias, pero la conservación de la masa) han sido plasmados en las frases del primero y el tercer profesores. Kind (2004:73 y 74) señala que la forma de comprobar que existe conservación de la masa en una RQ es llevándola a cabo en un recipiente cerrado sobre una balanza, como el mismo primer profesor lo sugiere.

Con relación a la frase del segundo profesor es claro que no es sino pasando primero por la naturaleza microscópica (en adelante utilizaremos más bien el término "nanoscópico" por ser de nanómetros y no de micrómetros las longitudes de los átomos y las moléculas) de la RQ y la identificación de elementos en las fórmulas de las sustancias iniciales y finales que se llega a la conclusión de que se da la conservación elemental en una reacción química. Solsona e Izquierdo (1998) nos indican que la conservación de los elementos químicos es un concepto francamente difícil de asimilar. De aquí que Griffiths y Preston (1992:612) señalen que:

> [...] los educadores de química generalmente están de acuerdo en que la comprensión de los conceptos átomo y molécula son fundamentales para el aprendizaje de la química. Esta comprensión es esencial para el aprendizaje de otros conceptos como enlace químico, reacción química, iones y estados de la materia.

Consecuentemente, la insistencia del segundo profesor que menciona la necesidad de que los alumnos "comprendan el significado de las fórmulas químicas y de las ecuaciones químicas", es decir, que transiten de la comprensión macroscópica de una RQ a su comprensión nanoscópica, con claridad acerca de la verdadera transformación de la estructura molecular.

DeMeo (2005) acaba de escribir un artículo para profesores que les guste incrementar la construcción estudiantil de gráficos que involucren relaciones entre las masas de reactivos y productos en las actividades introductorias del laboratorio de química general.

2) En cuanto a "representación de reacciones", dos de los profesores citan en la pregunta 4 las dificultades y limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea:

> Pasar al mundo de lo simbólico requiere de aclaraciones constantes por parte del profesor. Todo se trata de presentar un modelo representacional que resulte sintético y valioso para el entendimiento de la química.
>
> La fórma simbólica de representar una reacción química es por medio de una ecuación química.

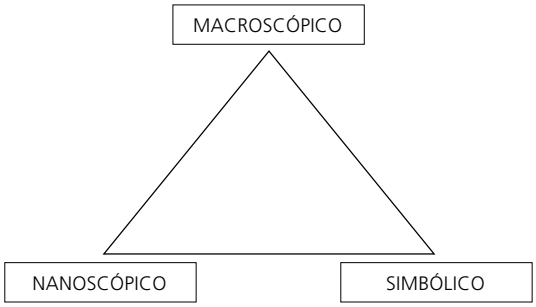
Sobre la representación de reacciones químicas mediante símbolos, Gabel (1999) cita el triángulo de Johnstone (1991; ver figura 1):

> La materia que es observada y puede ser estudiada al nivel macroscópico, puede también ser descrita al nivel nanoscópico y, en ocasiones al hacerlo, parece que las explicaciones son más definitivas. Para complicar más las cosas, los químicos pueden representar ambos niveles, el macroscópico y el nanoscópico, mediante el empleo de símbolos químicos, fórmulas químicas y ecuaciones químicas.

Es una destreza muy particular del profesor de química ir acostumbrando a los estudiantes a este cambio de foco de la química, que lo lleva de manera natural de uno de los vértices del triángulo de Johnstone al otro.

FIGURA 1

Triángulo de Johnstone. Los tres niveles que debe abarcar la enseñanza de la química



Actualmente se emplea más bien el nivel "nanoscópico" en lugar del "microscópico" o el "submicroscópico", como lo denominó Johnstone, porque las moléculas miden del orden de nanómetros.

3) En relación con el tema "relaciones cuantitativas de la reacción química y balanceo":

a) Se presentan a continuación los siguientes objetivos de aprendizaje de dos de los profesores (pregunta 1):

> Lo que aquí se intenta es que los estudiantes sean capaces de realizar los cálculos estequiométricos involucrados en una reacción química. Para comprender este tema es necesario que cuenten con el concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol y que tengan destreza en el manejo del concepto de proporcionalidad.
>
> Establecer la proporción en que intervienen los reactivos para predecir la cantidad de productos que se obtendrán a través de cálculos estequiométricos sencillos.

El concepto cantidad de sustancia y su unidad, el mol, ha sido ampliamente debatido en la literatura educativa (Furió *et al.*, 2000 y Furió, Azcona y Guisasola, 2002), sobre todo el poco uso que se da del primero en los libros de texto de química, por lo que resulta gratificante la frase del primer profesor. Para llevar a cabo la cuenta de las masas involucradas en una reacción de todos los compuestos participantes es muy útil emplear una tabla de reacción (Watkins, 2003), que es lo que parece recomendar el segundo profesor con su frase.

b) Para la idea "balanceo de ecuaciones", presentamos las frases de tres profesores con respecto de los conocimientos sobre el pensamiento de los estudiantes que influyen en su enseñanza de esta idea (pregunta 5):

> Los profesores con frecuencia olvidamos que gran parte del lenguaje que usamos para describir fenómenos químicos no es obvio para los estudiantes. Se debe tener en cuenta que las fórmulas, ecuaciones y otras representaciones simbólicas usadas en química no son familiares a los estudiantes y que ellos están aprendiendo un nuevo lenguaje. En una ecuación química hay una serie de ítems que los estudiantes deben aprender su significado: fórmulas, símbolos como:
>
> $$\triangle \downarrow \uparrow \Longleftrightarrow \rightarrow \text{s, l, g.}$$
>
> Los subíndices y los coeficientes son frecuentemente confundidos.

> Desconocen el lenguaje químico, por lo que no saben escribir las fórmulas, no aplican el principio de la conservación de la masa, por lo que no balancean las ecuaciones químicas y modifican los subíndices de las fórmulas para balancear las ecuaciones.
>
> Los alumnos deben superar la dificultad que tienen en distinguir que en una fórmula química los subíndices indican el número de átomos de cada elemento presente y el coeficiente indica el número de fórmulas que hay que considerar y que afecta a todos los elementos presentes en el compuesto.

La alerta del primer profesor acerca de lo novedosa que es toda la simbología química para los alumnos es de tomarse en cuenta para el desarrollo del CPC de los maestros novatos. Añade complejidad a la química el uso frecuente de símbolos matemáticos, fórmulas y ecuaciones para expresar relaciones a los niveles macroscópico y nanoscópico (Gabel, 1999). En cuanto a la segunda y tercera frases, desde hace tiempo en la literatura (Paoloni, 1979; Yarroch, 1985) ha sido informada la confusión que se da entre los alumnos de los subíndices y los coeficientes estequiométricos en una reacción.

4) Para la "formación de nuevas sustancias", dos de los profesores nos expresan las siguientes estrategias (pregunta 7 del cuestionario de la tabla 1):

> Conviene al empezar el tema hablar de lo vano que resulta diferenciar los cambios físicos de los cambios químicos, sobre todo si se menciona que los cambios químicos involucran la transformación sustancial del ambiente microscópico, porque una disolución o un cambio alotrópico implican sin duda una transformación notable del ambiente submicroscópico, siendo que son clasificados normalmente como cambios físicos. De forma similar, otros cambios químicos como la desnaturalización de la proteína del huevo al hervirlo, no conducen a un cambio en el orden de enlace de los aminoácidos, sino únicamente a la presencia o ausencia de estructura terciaria de las proteínas involucradas.
>
> En el enfoque tradicional no se da tiempo ni espacio para consolidar el aprendizaje de un concepto que es necesario para otros subsecuentes. Se utilizan pocos ejemplos demostrativos o de imágenes que ayuden a los alumnos a reconocer que se ha formado una nueva sustancia para que traten de explicar que ese cambio ocurre a nivel microscópico entre los átomos. Se pueden dar problemas prácticos para reconocer la identidad de diferentes muestras de sustancias a través de realizar pruebas con diferentes reactivos y comparar resultados.

El primer profesor apunta un problema fundamental en la enseñanza de los cambios físicos como algo diferenciado de los cambios químicos, un debate que tiene ya muchos años (Gensler, 1970; Strong, 1970) y que escogimos para documentar en forma de un inventario (ver el apéndice 2).

Mortimer y Miranda (1995) apuntan que las mayores dificultades que enfrentan los alumnos de enseñanza fundamental o media al estudiar las reacciones químicas están relacionadas con la gran extensión y generalización de este concepto. Al final de cuentas, "qué es lo que puede haber en común entre fenómenos tan diferentes como la combustión de una vela, la oxidación de un clavo o la disolución de un comprimido antiácido." Pero lo que hay en común entre todos los cambios químicos es la desaparición de algunas sustancias y la aparición de otras nuevas; lo que cambia de una reacción a otra es cuáles desaparecen y cuáles aparecen, lo que hace plenamente diferente la naturaleza de una reacción a la siguiente.

En relación con la frase del segundo profesor, Bond-Robinson (2005), quien presenta un trabajo sobre CPC en el laboratorio químico, nos indica que "entender el significado químico de una reacción es correlacionar el cambio químico visible con un modelo mental de átomos, iones y moléculas reaccionando en el mundo nanoscópico." Este paso de la descripción macro a la nano, relativa a las partículas, resulta ser el paso crucial en la enseñanza del concepto de RQ (De Vos y Verdonk, 1987).

Kind (2004:44) recomienda que se proporcione a los alumnos una extensa variedad de sustancias. El concepto de "sustancia" está detrás de todas las confusiones estudiantiles alrededor de lo que es una RQ, pues la definición de que una reacción ocurre cuando se forman nuevas sustancias entra en fuego cruzado con la de "sustancia" como aquella muestra de materia que contiene un solo componente con ciertas propiedades físicas y químicas. De esta manera, en la definición de RQ entra el concepto de "sustancia" y en ésta entra el de "propiedades químicas". Una discusión sobre este punto en particular puede encontrarse en la porción final del inventario del apéndice 2 de este trabajo. De aquí que Kind (2004:57) dedique una sección entera de su texto, nombrándola "¿Qué es una sustancia? Entendimiento de la terminología química", para discutir la necesidad de empezar por la definición de sustancia antes de incorporar la de RQ, como también lo sugieren Azcona *et al.* (2004) y Johnson (1996).

5) Y por último, para la idea "tipos de reacciones", dos de los profesores nos citan en la pregunta de los procedimientos de enseñanza:

> El laboratorio es un magnífico aliado para demostrar y comprender esta idea. Se propone la realización de valoraciones sencillas ácido-base, haciendo énfasis en el funcionamiento de diferentes indicadores y la ilustración de las reacciones redox.
>
> Realizar experimentalmente, y de preferencia con técnicas de microescala, una variedad de cambios químicos. Mostrar reacciones que involucren cambios energéticos y ayudarles a reconocer que se forman nuevas sustancias (cambio de color, de olor, formación de gases, de precipitados, etcétera) y extender este razonamiento a otras reacciones para establecer posibles criterios que permitan clasificar las reacciones.

En cuanto al énfasis dado en estas respuestas al trabajo práctico, conviene recordar lo que nos indican Hofstein y Lunetta (2004) para su desarrollo ulterior durante este siglo:

> Al laboratorio se le ha dado un papel central y distintivo en la educación en ciencias, y los educadores de la ciencia han sugerido los ricos beneficios del aprendizaje acumulado al emplear actividades de laboratorio [...] Vivimos en una era de cambios dramáticos en los recursos de nuevas tecnologías y nuevos estándares de la educación en ciencias en los que el aprendizaje por indagación (*inquiry*) ha adquirido un renovado estatus central.

En lo que se refiere las concepciones alternativas que muestran sus estudiantes, dos de los profesores son especialmente cuidadosos en sintetizar en su ReCo las más importantes informadas por Andersson (1990) y Kind (2004):

> Tienen dificultad para reconocer cuando ocurre una reacción química. Igualmente la tienen en distinguir entre elementos, compuestos y mezclas, conceptos a partir de los cuales debe construirse el conocimiento químico. No distinguen de manera consistente entre un cambio químico y un cambio de estado. Piensan que las sustancias cambian algunas de sus propiedades, pero siguen conservando su identidad.
>
> Muchos estudiantes tienen la concepción de la materia como algo continuo. Les hace falta distinguir entre propiedades físicas y químicas. Les atribuyen propiedades macroscópicas a las partículas.

Cada ReCo permite apreciar una clara línea de trabajo de cada profesor. A continuación presentamos la característica que distingue a cada cual, con una frase textual que la revela:

1) El profesor 1 concibe a la química más como una ciencia donde el término "sustancia" es el fundamental que otra en la que el término "reacción química" lo sea. Se trata de un profesor con una fuerte componente teórica, como revela la siguiente frase de su CoRe:

> La descripción adecuada de estas interacciones requiere del complejo y bello aparato de la mecánica cuántica, aunque las interacciones entre partículas también se pueden describir satisfactoriamente con modelos eléctricos clásicos como dipolos eléctricos y cargas puntuales.

Sin embargo, aclara:

> Los modelos que describen estas interacciones son de una complejidad matemática muy superior a la que poseen los alumnos (y los profesores) de este nivel. Sería un error pretender sustentar esta idea con el rigor matemático propio de los modelos. Sin embargo, sí es factible presentar los conceptos centrales.

2) Las profesoras 2 y 3 tienen en su habitual expresión en el aula una fuerte componente experimental. Hemos extraído un párrafo de cada CoRe:

> Realizar actividades experimentales en que se varíe la proporción de uno de reactivos y el otro se mantenga constante (técnica de las variaciones múltiples). Pueden utilizarse reacciones de precipitación en que los alumnos puedan separar fácilmente el producto formado y determinar su masa. Presentar los resultados en gráficos para establecer la proporción en que varía cada uno y detectar los posibles errores experimentales en la determinación de las masas. Ésta es, sin duda, una forma fácil de obtener las fórmulas de los compuestos de forma cuantitativa.
>
> El laboratorio es un magnífico aliado. Se llevan a cabo experimentos, del tipo de ciclos de reacciones, que demuestran la conservación de la materia y que involucran la práctica de la nomenclatura y de los cálculos estequiométricos. Pueden también llevarse a cabo reacciones endotérmicas y exotérmicas. O bien, realizar valoraciones sencillas ácido-base, enfatizando el funcionamiento de diferentes indicadores, o ilustrar las reacciones redox, demostraciones del Principio de Le Chatelier y la demostración de la reversibilidad de algunas reacciones.

3) El profesor 4 es un químico teórico que hace énfasis en algunas concepciones alternativas de los estudiantes:

La palabra "sustancia" tiene una concepción cotidiana no tan restrictiva como la "sustancia" de la química, lo cual dificulta su aprendizaje.

El proceso de "aparición" y "desaparición" de sustancias no es comprendido cabalmente por los alumnos, pues interfiere con su concepción acerca de la conservación de la materia.

Algunos alumnos tienen problema en identificar las proporciones atómicas en la escritura de fórmulas, a base de subíndices y paréntesis.

4) La profesora 5 utiliza el triángulo de Johnstone para clasificar sus ideas centrales, al que añade una cuarta componente a la que denomina "dimensión cuantitativa":

- Dimensión macroscópica
  - Formación de nuevas sustancias
  - Conservación de la masa
  - ¿Cómo se sabe que se ha llevado a cabo una reacción química?
- Dimensión microscópica
  - Discontinuidad de la materia
  - Conservación de los átomos
  - Conceptos de sustancia, átomo y molécula
- Dimensión simbólica
  - Representación de reacciones
  - Balanceo de ecuaciones
- Dimensión cuantitativa
  - El concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol.
  - Relaciones en masa y en cantidad de sustancia, reactivo limitante, rendimiento, pureza de los reactivos, etcétera.

Algunas cuestiones que resaltan entre sus respuestas al cuestionario de la ReCo fueron:

Para que los estudiantes comprendan las reacciones químicas, deben manejar con soltura la noción de discontinuidad de la materia. La materia está formada por partículas: átomos que se combinan formando moléculas. Por otra parte, deben comprender la conservación de los átomos durante el transcurso de la reacción. Una gran parte de los estudiantes no tiene estos conceptos y considera que la

> materia es continua, por lo que no puede comprender a cabalidad lo que es una reacción química.
>
> Considero que el principal problema que tienen los estudiantes en los cálculos estequiométricos involucrados en las reacciones químicas, es que no manejan la proporcionalidad y se les presenta muy abstracto el concepto de cantidad de sustancia.

En efecto, con relación al manejo de proporciones se ha mencionado que pocos estudiantes han alcanzado el estadio piagetiano de las operaciones formales, así que no pueden comprender el concepto de mol (Herron, 1975).

En lo relativo a los inventarios recabados, el profesor 4 nos permitió grabar su clase para elaborar el inventario que resumimos en el apéndice 2. Éste revela la problemática que existe alrededor de la definición de los conceptos "reacción química" y "sustancia". En tanto, la profesora 5 nos permitió ver las reacciones que desarrolla con sus alumnos a partir de lo cual realizamos el inventario que resumimos en el apéndice 1. Es de resaltar la claridad de esta profesora en la necesidad de pasar de los aspectos macroscópicos a los nanoscópicos.

Conclusiones y perspectivas

No cabe duda de que las ideas de Shulman han originado una revolución en el proceso de formación y evaluación de profesores. Van Driel, de Jong y Verloop (2002) han insistido en que "el problema es reconceptualizar la educación de los profesores de ciencias de forma que se integren cursos de la materia y de pedagogía con las experiencias en el campo de la docencia".

La metodología propuesta por Loughran, Mulhall y Berry (2004) permitió una eficaz documentación del CPC de los profesores. La disposición y arreglo de los datos facilita el análisis de los mismos. Resulta crucial hacer énfasis en que la ReCo es tanto una herramienta de investigación para acceder al entendimiento del contenido por parte de los profesores involucrados como una manera de representar este conocimiento.

En las ReCo recabadas, los profesores identifican claramente las ideas centrales asociadas con la RQ y los objetivos de su enseñanza, reconocen las probables dificultades conceptuales de sus estudiantes y plasman las

estrategias más empleadas para abordar satisfactoriamente la clase y su evaluación. En la comparación de las ideas centrales de docentes australianos reportadas por Mulhall, Berry y Loughran (2003), tres de ellas fueron informadas por al menos tres de nuestros profesores y una cuarta por dos de ellos.

Por lo detectado en las representaciones de contenido, quizás el mayor problema que presenta la enseñanza de este tema es que en ocasiones, para muchos alumnos, la aparición de nuevas sustancias no es visible; así mismo, se les dificulta comprender que a pesar de que se conserve la masa en una reacción aparezcan nuevas sustancias, ya que, argumentan, esto actúa en contra del "principio de conservación". Se recomienda que el estudiante observe y analice varias RQ hasta que saque sus propias conclusiones acerca de lo que una RQ representa y pasar a una representación nanoscópica de la misma, de tal manera que asimile que se conservan los átomos de los elementos químicos.

Como característica importante de los inventarios elaborados por los profesores se encontró que reúnen preguntas o actividades que apoyan a los estudiantes a explorar conceptos centrales.

Se considera importante documentar el CPC de profesores destacados de ciencias en un número creciente de tópicos (Garritz y Trinidad-Velasco 2004). Y hacerlo con profesores del nivel universitario es una imperiosa necesidad, de acuerdo con el comentario de De Jong (2002).

La perspectiva que emerge de esta investigación es emplear tanto las ReCo como los inventarios obtenidos para que sean discutidos por profesores en formación en talleres de trabajo. A pesar de la insistencia de que el CPC se adquiere mayoritariamente como una expresión de la propia docencia, el emplear estas muestras de ejemplos de profesores distinguidos en los talleres formativos resultará seguramente de utilidad porque reduce la novedad y la sorpresa, ya que le da mayor capacidad de respuesta al profesor en formación ante posibles situaciones que lo puedan tomar inadvertido, generándose un círculo virtuoso en el que aumenta su confianza.

Otra perspectiva es entrar ahora en las razones que los profesores exponen sobre por qué ocurren las reacciones químicas, un tema que forma parte central de la fisicoquímica y que ha recibido atención reciente, dada su enorme complejidad para la enseñanza (Taber, 2000; Keeler y Wothers, 2003). Se trata de responder a la pregunta de Caamaño (2003) "¿Cómo transcurren las reacciones químicas?"

Apéndice 1
Inventario de una profesora

Este inventario presenta una clase práctica para explicar las nociones sobre la RQ. La maestra presenta su forma de trabajo con el grupo, las demostraciones experimentales que utiliza y los rasgos generales de análisis y las reflexiones que hace en clase.

Como actividad inicial y para detectar algunas de las ideas que tienen los estudiantes acerca de lo que es una reacción química, se forman equipos de cuatro personas y se les entregan dos bolsas de polietileno con cierre hermético. Cada bolsa contiene un polvo blanco. Se pide a los estudiantes que mezclen en una sola bolsa las dos sustancias y que le añadan, con una pipeta de 10 mL, la disolución de una sustancia líquida (que es rojo de fenol). Se les recomienda que tengan la precaución de cerrar perfectamente su bolsa de plástico y se les pide que escriban todas sus observaciones. Los reactivos son bicarbonato de sodio y cloruro de calcio. Lo que se observa es el desprendimiento de un gas, el cual "infla la bolsa", se observa también un cambio de coloración del líquido agregado y un considerable aumento en la temperatura.

Después de esta actividad, se continúa con una lluvia de ideas de los fenómenos que los estudiantes han observado y que pueden considerar que se trata de un cambio químico. Para los alumnos resultan familiares fenómenos como la combustión pues ésta ha formado parte de los juegos de muchos de ellos desde su niñez. También mencionan la explosión de petardos, bengalas e incluso recuerdan cuando mezclaban azufre, carbón y pastillas de clorato para preparar sus propios explosivos.

Después se procede a realizar una serie de reacciones químicas en donde se note que hay desprendimiento de gases, cambio de color, formación de precipitados, etc. y se enfoca la discusión en el sentido de que se perciban las propiedades tanto de las sustancias que reaccionan como de las sustancias que se forman. Lo importante es que los estudiantes vean que se forman nuevas sustancias que antes no existían.

Se hace énfasis en que cuando ocurre una reacción química, las propiedades de las sustancias obtenidas son muy diferentes a las de los reactivos. El sodio es un metal muy activo que al combinarse con el cloro, que es un gas tóxico amarillo-verdoso, produce el cloruro de sodio, sólido cristalino, con el que acentuamos el sabor de nuestros alimentos.

Aquí también se hace notar que existen algunas reacciones que cuando tienen lugar, no se observa cambio alguno, como es el caso de las reacciones ácido-base. Para notar el cambio químico se tiene que hacer uso de indicadores o detectar cambios de la temperatura.

La profesora puso énfasis también en el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para presentar a los alumnos imágenes de reacciones químicas a nivel nanoscópico, como ha sido resaltado recientemente por Ardac y Akaygun (2005).

Estas actividades pueden realizarse aproximadamente en dos horas.

Apéndice 2
Un segundo inventario de un profesor

Este inventario presenta una clase teórica sobre lo que es "la química" abordada por aprendizaje cooperativo, en grupos de tres estudiantes, en el cual a partir de disertaciones teóricas se analizan los conceptos sustancia, reacción química y química. La pregunta central, para empezar, es:

"QUÍMICA: ¿Tiene que ver con sustancias o con procesos?
En esta clase vamos a plantear la dicotomía existente para la química, que está presente en las siguientes preguntas:

- *¿Es la química una ciencia dedicada al estudio de cosas o al de procesos? ¿Es una ciencia que trata acerca de sustancias o acerca de reacciones químicas?*
- *¿Se define una reacción química por la transformación de ciertas sustancias en otras o las sustancias son definidas por sus reacciones químicas características?*

Por ejemplo, Steven Weininger (2000) apunta que a pesar de que los procesos químicos son el centro de gran parte de la investigación química, el aparato conceptual para describir estos procesos es sorprendentemente pobre comparado con el que existe para describir estructuras.

Parte el profesor de una primera definición de química (la de Ronald Sydney Nyholm, un notable químico australiano):

> La química es el estudio integrado de la preparación, propiedades, estructura y reacciones de los elementos y sus compuestos, así como de los sistemas que forman.

Recuerda entonces la definición de "sustancia química" de la IUPAC, para incluirla en una nueva definición de "química" (nótese que no aparece caracterizada una sustancia por sus propiedades químicas, sino sólo por las entidades elementales de las que está formada y por sus propiedades físicas):

> Materia de composición constante mejor caracterizada por las entidades de las que está compuesta (moléculas, unidades fórmula o átomos). Las propiedades físicas tales como la densidad, el índice de refracción, la conductividad eléctrica, el punto de fusión, etc., caracterizan a la sustancia química.

A partir de la primera definición, añadiendo nuevos elementos y la reunión del concepto de sustancia, el profesor y sus alumnos arriban a una segunda definición.

> La química es el estudio integral y controlado de las sustancias, su modo de obtención, estructura interna, propiedades, caracterización, transformaciones estructurales y cambios de energía presentes en éstas.

La "reacción química" está escondida en el concepto "transformaciones estructurales" y el de "sustancia" ha reemplazado al de "los elementos y sus compuestos", convirtiéndose en el término más importante de la definición. No cabe duda, sin embargo, que una definición como ésta hace resaltar el estudio de las sustancias como algo fundamental en química y no tanto el estudio de los procesos químicos. Pero, ¿existen de verdad procesos químicos realmente diferenciados de los procesos físicos?

Dice entonces el profesor que "*siempre se falla en el intento de definir un universo de estudio de la física perfectamente ajeno al de la química*". No existe una frontera claramente definida entre ambas, lo que afortunadamente habla acerca de la unidad de la ciencia. Desde 1970 se adoptan tanto la actitud de defensa como la de ataque con relación a la enseñanza de una distinción entre "cambios físicos" y "cambios químicos" en dos artículos de ese año en el *Journal of Chemical Education* (Gensler, 1970; Strong, 1970).

Posteriormente el profesor va pasando por una multitud de conceptos, tales como "entidad elemental", "reacción química", "especie química", "cambio físico y cambio químico", presentando sus definiciones de la IUPAC entre las discusiones, para concluir que: "*No hay sino una frontera nebulosa entre los cambios físicos y los químicos*". Por ello, se dice que hacer esa distinción en el aula no es una ayuda pedagógica ni tampoco significativa desde el punto de vista científico (Borsese y Esteban, 1998). Se trata en última instancia de modelos extremos sobre el comportamiento de la materia en los procesos naturales. Y en ciencia es elemental no confundir los modelos con la realidad. "*Quizá podamos encontrar casos reales de transformaciones de la materia que se adapten cercanamente a alguna definición arbitraria o convencional de modelo de cambio físico o a una de cambio químico, pero nada más*".

Además, hemos tenido inevitablemente que introducir en el análisis y discernimiento de uno u otro tipo de procesos la noción nanoscópica de la estructura interna de la materia. Así, hemos de resignarnos a perder la posibilidad de definir el concepto desde un punto de vista puramente observacional, para entrar en las entrañas del nanocosmos, tan abstracto, ajeno y distante al alumno.

El artículo de Palmer y Treagust (1996) analiza los criterios que se han dado en los libros de texto para diferenciar cambios físicos de químicos durante los últimos ciento setenta años, y plantea cuatro hipótesis acerca de la longevidad de este tema en los libros:

1) El concepto es un remanente de la teoría aristotélica de la materia, retenido por el conservadurismo natural de los científicos.
2) La distinción entre cambio físico y químico en los libros es un artilugio pedagógico, que ayuda a los estudiantes a entender los conceptos relacionados.
3) El concepto puede ser ilustrado por un conjunto de experimentos excitantes e interesantes que le satisfacen a aquellos profesores que se ven a sí mismos orientados hacia el trabajo práctico.
4) El concepto es un ardid empleado por los químicos para definir la frontera entre química y física, con ventaja para la química, de tal forma que los jóvenes tiendan a seleccionar esta disciplina como objeto de estudio, en lugar de física.

Finalmente, el profesor plantea que hay quien toma un punto de vista intermedio ante preguntas como las que inician este inventario y llega a la conclusión de que dicha dicotomía es un problema no resuelto:

> *Shummer (2004) ha argumentado hacia un enfoque integrador de la dicotomía mencionada, que combine conceptualmente sustancias y procesos químicos en una red de relaciones dinámicas, de tal forma que sustancias y reactividades se definan mutuamente una a la otra, tanto al nivel teórico como en el experimental.*

Referencias bibliográficas

Ahtee, M. y Varjola. I. (1998). "Students' understanding of chemical reaction", *International Journal of Science Education,* vol. 20, núm. 3, pp. 305-316.

Andersson, B. (1990). "Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16)", *Studies in Science Education,* vol. 18, pp. 53-85.

Ardac, D. y Akaygun, S. (2005). "Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level", *International Journal of Science Education,* vol. 27, núm. 11, pp. 1269-1298.

Atkins, P. W. (2005). "Skeletal chemistry", *Education in Chemistry*, vol. 42, núm. 1, pp. 20 y 25.

Azcona, R. *et al.* (2004). "¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 40, abril, pp. 7-17.

Balocchi, E. *et al.* (2005). "Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia' con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte II. Ideas previas sobre el concepto de reacción química. Anexo: cuadernillo sobre masa atómica relativa", *Educación Química*, vol. 16, núm. 4, pp. 550-567.

Barnett, J. y Hodson, D. (2001). "Pedagogical context knowledge: Toward a fuller understanding of what good science teachers know", *Science Education,* vol. 85, pp. 426-453.

Bond-Robinson, J. (2005). "Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory", *Chemistry Education Research and Practice,* vol. 6, núm. 2, pp. 83-103.

Borsese, A. y Esteban, S. (1998). "Los cambios de la materia, ¿deben presentarse diferenciados como químicos y físicos?", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales,* vol. 17, julio, pp. 85-92.

Caamaño, A. (2003). "La enseñanza y el aprendizaje de la química", en Jiménez A., P. (coord.) *Enseñar ciencias*, Barcelona: Grao, pp. 203-228.

Carlsen, W. S. (1999). "Domains of teacher knowledge", en Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G., *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science Education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 133-144.

Clermont, C. P.; Borko, H. y Krajcik, J. S. (1994). "Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 31, núm. 4, pp. 419-441.

Cochran, K. F.; DeRuiter, J. A. y King, R. A. (1993). "Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation", *Journal of Teacher Education*, vol. 44, pp. 263-272.

De Jong, O. (1992). "Expertise as a source of difficulties: teaching and learning chemical calculations", en Voorbach, J. T. *et al.* (eds.) *Teacher education: Research and developments on teacher education in the Netherlands*. Amsterdam/Lisse: Swets & Zeitlinger, pp. 5-15.

De Jong, O. (1998). "Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: dilemas y soluciones", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 16, núm. 2, pp. 305-314.

De Jong, O.; Korthagen, F. y Wubbels, T. (1998). "Research on science teacher education in Europe: Teacher thinking and conceptual change", en B. J. Fraser y K.G. Tobin (eds.), *International handbook of science education*, Gran Bretaña: Kluwer, pp. 745-758.

De Jong, O. (2002). "Developing teachers and chemical education", en J. K. Gilbert *et al.* (eds.) *Chemical education: Towards research-based practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 365-367.

De Jong, O.; Veal, W. R. y Van Driel, J. H. (2002). "Exploring chemistry teachers' knowledge base", en J. K. Gilbert *et al.* (eds.), *Chemical education: towards research-based practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 369–390.

De Jong, O. y Van Driel, J. H. (2004). "Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics", *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 2, núm 4, pp. 477-491.

De Vos, W. y Verdonk, A. H. (1987). "A new road to reactions. Part 4. The substance and its molecules", *Journal of Chemical Education*, vol. 64, núm. 8, pp. 692-694. Part 5: "The elements and its atoms", *Journal of Chemical Education*, vol. 64, núm. 12, pp. 1010-1013.

DeMeo, S. (2005). "Relationships in a chemical reaction: incorporating additional graphing exercises into the introductory chemistry laboratory", *Journal of Chemical Education*, vol. 82, núm. 8, pp. 1219-1222.

Furió, C. *et al.* (2000). "Difficulties in teaching the concepts of amount of substance and mole", *International Journal of Science Education,* vol. 22, pp. 1285-1304.

Furió, C., Azcona, R. y Guisasola, J. (2002). "The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': a review of the literature", *Chemistry Education: Research and Practice*, vol. 3, núm. 3, pp. 277-292.

Gabel, D. (1999). "Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future", *Journal of Chemical Education*, vol. 76, núm. 4, pp. 548-554.

Garritz, A. (1998). "Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato. La corriente educativa Ciencia-Tecnología-Sociedad", *Ciencia* (Academia Mexicana de Ciencias), vol. 49, núm. 1, pp. 27-34.

Garritz, A. y Trinidad-Velasco, R. (2004). "El conocimiento pedagógico del contenido", *Educación Química,* vol. 15, núm. 2, pp. 98-101.

Gensler, W. J. (1970). "Physical versus chemical change", *Journal of Chemical Education,* vol. 47, núm.2, pp. 154-155.

Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. (eds.) (1999). *Examining pedagogical content knowledge*, Dordrecht: Kluwer.

Gillespie, R. J. (1997). "The great ideas of chemistry", *Journal of Chemical Education*, vol. 74, núm. 7, pp. 862-864.

Griffiths, A. y Preston, K. (1992), "Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 29, núm. 6, pp 611-628.

Herron, J. D. (1975). "Piaget for chemists", *Journal of Chemical Education*, vol. 52, pp. 146-150.

Hofstein, A. y Lunetta, V, N. (2004). "The laboratory in science education: Foundation for the 21st century", *Science Education,* vol. 88, pp. 28-54.

Johnson, P. (1996). "What is a substance?", *Education in Chemistry*, vol. 33, núm. 2, pp. 41-42 y 45.

Johnstone, A. H. (1991). "Why Is science difficult to learn? Things are seldom what they seem", *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, pp. 701–703.

Kagan, D. M. (1990). "Ways of evaluating teacher cognition: inferences concerning the Goldilocks Principle", *Review of Educational Research*, vol. 60, núm. 3, pp. 419-469.

Keeler, J. y Wothers, P. (2003). *Why Chemical Reactions Happen*, Nueva York: Oxford University Press.

Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*, col. Aula XXI, México: Santillana/Facultad de Química-UNAM.

Loughran, J. *et al.* (2001). "Documenting science teachers' pedagogical content knowledge trough PaP-eRs". *Research in Science Education*, vol. 31, pp. 289-307.

Loughran, J.; Mulhall, P. y Berry, A. (2004). "In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41, núm. 4, pp. 370–391.

McEwan, H. y Bull, B. (1991). "The pedagogic nature of subject matter knowledge", *American Educational Research Journal*, vol. 28, núm. 2, pp. 316-334.

Mortimer, E. F. y Miranda, L. C. (1995). "Transformações: concepções dos estudantes sobre reações químicas", *Química Nova na Escola*, vol. 2, pp. 23-26.

Mulhall, P.; Berry, A. y Loughran, J. (2003). "Frameworks for representing science teachers' pedagogical content knowledge", *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 4(2), art. 2 (disponible en http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents).

Palmer, W. y Treagust, D. F. (1996). "Physical and chemical changes in textbooks: an initial view", *Research in Science Education,* vol. 26, núm. 1, pp. 129-140.

Paoloni, L. (1979). "Towards a culture-based approach to chemical education in secondary schools: the role of chemical formulae in the teaching of chemistry", *European Journal of Science Education*, vol. 1, núm. 4, pp. 365-377.

Petrucci, M. I. F. y Schnetzier, R. R. P. (1998), "Sobre a importância do conceito transformação química no proceso de aquisição do conhecimento químico", *Química Nova na Escola*, vol. 8, pp. 31-35.

Raviolo, A. y Garritz, A. (2005). "Decálogos e inventarios", *Educación Química,* vol. 16, núm. extraordinario, pp. 106-110.

Sánchez-Blanco, G. y Valcárcel, M. V. (2000). "Relación entre el conocimiento científico y el conocimiento didáctico del contenido: un problema en la formación inicial del profesor de secundaria", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales,* núm. 24, pp. 78-86.

Segal, A. (2004). "Revisiting pedagogical content knowledge: the pedagogy of content/the content of pedagogy", *Teaching and Teacher Education*, vol. 20, 489-504.

Shulman, L.S. (1986). "Those who understand: knowledge growth in teaching", *Educational Researcher*, vol. 15, pp.4-14.

Schummer, J. (2004). "Editorial: substances versus reactions", *International Journal for the Philosophy of Chemistry*, vol. 10, núm.1, pp. 3-4.

Solsona, N. e Izquierdo, M. (1998). "La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de secundaria", *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 17, pp. 76-84.

Spencer, J. N. (1992). "General chemistry course content", *Journal of Chemical Education*, vol. 69, núm. 3, pp. 182-186.

Stromdahl, H.; Tullberg, A. y Lybeck, L. (1994). "The qualitatively different conception of 1 mol", *International Journal of Science Education,* vol. 16, núm. 1, pp. 17-26.

Strong, L. E. (1970). "Differentiating physical and chemical changes", *Journal of Chemical Education,* vol. 47, núm. 10, pp. 689-690.

Taber, K. S. (2000). "What should we tell the pupils about why reactions happen?" (disponible en http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001652.doc) (fecha de última consulta: 9 de mayo de 2006).

Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure. Volume 1: Theoretical Background*, Londres: Royal Society of Chemistry.

Talanquer, V. (2004). "Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?", *Educación Química,* vol. 15, núm. 1, pp. 52-58.

Tamir, P. (1988). "Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education", *Teaching & Teacher Education,* vol. 4, núm. 2, pp. 99-110.

Thiele, R. y Treagust, D. (1994). "An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations", *Journal of Research in Science Teaching,* vol. 31, núm. 3, pp. 227-242.

Tullberg, A., Stromdahl, H. y Lybeck, L. (1994). "Students' conception of 1 mol and educators conception of how to teach the mole", *International Journal of Science Education*, vol. 16, núm. 2, pp. 145-156.

Van Driel, J. H., De Jong, O. y Verloop, N. (2002). "The development of preservice chemistry teachers' Pedagogical Content Knowledge", *Science Education,* vol. 86, núm. 4, pp. 572-590.

Watkins, S. F. (2003). "Applying the reaction table method for chemical reaction problems (stoichiometry and equilibrium)", *Journal of Chemical Education*, vol. 80, núm. 6, pp. 658-661.

Weininger, S. J. (2000). "Butlerov's vision. The timeless, the transient, and the representation of chemical structure", en N. Bhushan y S. Rosenfeld (eds.) *Of Minds and Molecules*, New York: Oxford University Press, pp. 143-161.

Yarroch, W. L. (1985). "Student understanding of chemical equation balancing", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, pp. 449-453.

Artículo recibido: 11 de enero de 2006
Dictamen: 9 de mayo de 2006
Segunda versión: 29 de mayo de 2006
Aceptado: 22 de junio de 2006