

El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia

Andoni Garritz¹ y Rufino Trinidad-Velasco²

Abstract (*Pedagogical knowledge of the particulate structure of matter*)

This study is dedicated to the concept of Pedagogical Content Knowledge (PCK). How it is defined by several authors; what has been its impact in chemistry teaching and in the programs to form chemistry teachers; the way in which it has been documented and portrayed. It also contains the results of several researchers worried about improving the teaching in the domain of chemistry. Particularly, a set of five well-recognized lineage curricular projects about the topic of the particulate structure of matter is particularly revised with a deep insight, as those of:

- Joseph Nussbaum with youth Israelites;
- The «Children Learning in Science» project of the University of Leeds, England;
- The «Matter and Molecules» project from Michigan State University, in the United States of America, and finally the Spanish developments of
- Joaquín Martínez Torregrosa, in the University of Alicante, and
- Miguel Ángel Gómez-Crespo, Juan Ignacio Pozo and María Sagrario Gutiérrez-Julián, in some Madrid Institutes and Autonomous University.

Finally, a description of the results of a study on documenting and portraying the PCK for the particulate structure of matter with ten Mexican high school teachers is presented.

Introducción

Este artículo versa sobre el concepto «Conocimiento Pedagógico del Contenido» (CPC); su impacto en el proceso formativo de profesores; las aplicaciones más importantes que se han mencionado en el campo de la química; las formas que existen de documentarlo; sus expresiones implícitas en cinco pro-

yectos renovadores sobre la estructura corpuscular de la materia, y su captura en diez profesores mexicanos del bachillerato sobre este mismo tema, comparándolo con la de profesores australianos previamente informada. Una versión sintética sobre este mismo tema está por salir publicada (Garritz y Trinidad, 2006).

En el prefacio de la obra de Julie Gess-Newsome y Norman Lederman, Lee S. Shulman (1999) nos relata lo que le ocurrió en el verano de 1983, cuando dictó una conferencia en la Universidad de Texas, en Austin, la cual tituló «El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza».

«Para mi delicia, el título aparentemente había estimulado discusiones serias entre los participantes, en anticipación a mi charla. Ellos se preguntaban: ¿qué se trae Shulman en mente con lo del paradigma perdido? Las especulaciones abundaban. Muchos predecían que yo identificaría como tal a la «cognición del profesor». Otros nominaban al «contexto». Otros aun especulaban que sería la «personalidad del profesor». Aunque no hice una votación formal, parece que ningún miembro de la audiencia anticipó el aspecto de la enseñanza y de su investigación que yo declarararía como «perdido». Y aun cuando me aproximaba a las notas de conclusión, después de una larga hora de charla (no soy yo quien se caracterice por economía en la expresión), la mayor parte recibió un fuerte impacto cuando declaré que «el paradigma perdido era el estudio del contenido de la materia y su interacción con la pedagogía».

Tres años más tarde, Shulman (1986) publica las primeras ideas que resultan de los estudios sobre la interacción entre el contenido temático de la materia y la pedagogía. Shulman planteó algunas preguntas como las siguientes: «¿Cómo el estudiante universitario exitoso que se convierte en profesor novato transforma su pericia en la materia en una forma que los estudiantes de bachillerato puedan comprender?, ¿cuáles son las fuentes de las analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones y reformulaciones que el profesor usa en el aula?, ¿cómo los profesores toman

¹ Facultad de Química, UNAM, Ciudad Universitaria. 04510 México, DF.

Correo electrónico: andoni@servidor.unam.mx

² Instituto de Educación Media Superior del DF, Iztacalco, 08500, México, DF.

Correo electrónico: rtvel_6510@yahoo.com

una parte de un texto y transforman su entendimiento en instrucción que sus estudiantes puedan comprender?”.

Él plantea que, para ubicar el conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores, habría que distinguir tres tipos del mismo:

- (a) El conocimiento del contenido disciplinario de la asignatura, (CD);
- (b) El conocimiento pedagógico del contenido (CPC), “el tema de la materia para la enseñanza” [Los autores publicaron un primer acercamiento al CPC en una editorial de esta misma revista (Garritz y Trinidad Velasco, 2004)], y
- (c) El conocimiento curricular (CC).

El conocimiento del contenido disciplinario de la asignatura (CD) se refiere a la cantidad y organización de conocimiento del tema *per se* en la mente del profesor. Para pensar apropiadamente acerca del conocimiento del contenido se requiere ir más allá del conocimiento de los hechos o conceptos de un dominio, se requiere entender las estructuras del tema. Según Schwab (1978), dichas estructuras incluyen la sustantiva y la sintáctica. La primera es la variedad de formas en la cual los conceptos y principios básicos de la disciplina son organizados para incorporar sus hechos. La estructura sintáctica de una disciplina es el conjunto de formas en el cual se establece la verdad o falsedad, la validez o invalidez de alguna afirmación sobre un fenómeno dado.

El último, el **conocimiento curricular** (CC), dice Shulman que “está representado por el abanico completo de programas diseñados para la enseñanza de temas particulares que se encuentra disponible en relación con estos programas, al igual que el conjunto de características que sirven tanto como indicaciones como contraindicaciones para el uso de currículos particulares o materiales de programas en circunstancias particulares”.

El CPC

De estos tres tipos de conocimiento, el **conocimiento pedagógico del contenido** es el que ha recibido más atención, tanto en el campo de la investigación, como en el de la práctica. Sobre el CPC, Shulman nos dice “es el conocimiento que va más allá del tema de la materia *per sé* y que llega a la dimensión del conocimiento del tema de la materia *para* la enseñanza” (Shulman, 1987, p. 9). Hay que diferenciar el CPC del Conocimiento Pedagógico General para la enseñanza (CPG), el cual es el conocimiento de principios

genéricos de organización y dirección en el salón de clases; el conocimiento de las teorías y métodos de la enseñanza.

En el CPC incluye, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor, lo que lo habilita para responder a preguntas tales como: “¿Qué analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, son las formas más efectivas para comunicar los entendimientos apropiados o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares?” (Shulman y Sykes, 1986, p. 9). De esta manera, en el CPC se incluyen, para los tópicos más regularmente enseñados en el área temática del profesor todo el esfuerzo que hace para hacer comprensible su tema ante sus estudiantes.

El CPC también incluye un entendimiento de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de tópicos específicos: “Las concepciones y preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y antecedentes traen al aprendizaje de los tópicos y lecciones más frecuentemente enseñados”. Los profesores necesitan el conocimiento de las estrategias más probables de ser fructíferas en la reorganización del entendimiento de los aprendices.

Shulman extiende en 1987 la noción del conocimiento básico con que el profesor debe contar, e incluye al menos los siguientes siete tipos de conocimiento:

- Conocimiento del contenido disciplinario de la materia o asignatura (CD);
- Conocimiento pedagógico general (CPG);
- Conocimiento curricular (CC);
- Conocimiento pedagógico del contenido (CPC);
- Conocimiento de los aprendices y sus características;
- Conocimiento del contexto educativo, y
- Conocimiento de los fines, propósitos y valores educacionales y sus bases filosóficas e históricas

Menciona Geddis (1993) que un profesor sobresaliente no es considerado simplemente como “un profesor” sino más bien como “un profesor de historia” o “un profesor de química” o “un profesor de lengua”. Mientras que, en cierto sentido, existen habilidades genéricas para enseñar, muchas de las capacidades pedagógicas del profesor sobresaliente versan sobre contenidos específicos; es decir, forman parte del CPC.

Cochran, DeRuiter y King (1993), en un sentido más amplio, definen el CPC como el entendimiento

integrado de las cuatro componentes que posee un profesor: pedagogía, conocimiento temático de la materia, características de los estudiantes y el contexto ambiental del aprendizaje. Idealmente, el CPC se genera como una síntesis del desarrollo simultáneo de dichas cuatro componentes. En su artículo se refieren a “Pedagogical content knowing” en lugar de “Pedagogical content knowledge”, para hablar de una acción en lugar de un sustantivo y para hacer compatible la perspectiva filosófica de Shulman con el constructivismo, ya que mencionan que McEwan y Bull (1991) concluyen que ni dentro de una perspectiva constructivista ni objetivista se justifica la distinción de Shulman entre CD y CPC, ya que según ellos, el CD es también fundamentalmente pedagógico.

En este contexto, Chevallard (1991) maneja un concepto similar al del CPC, el de transposición didáctica: “Un contenido de saber que ha sido designado como un saber a enseñar, sufre a partir de entonces un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. El «trabajo» que transforma a un objeto del saber científico en un objeto de enseñanza, es denominado la transposición didáctica”.

En la didáctica de las ciencias, el CPC ha sido usado como un término para describir “cómo los profesores novatos aprenden poco a poco a *interpretar y transformar* su contenido temático del área en unidades de significados comprensibles para un grupo diverso de estudiantes” (Van Driel, Verloop y de Vos, 1998). Estos autores insisten en que el CPC fue introducido por Shulman argumentando que la investigación de la enseñanza y la educación de profesores habían ignorado preguntas de investigación relativas al contenido de las lecciones enseñadas. Describen el CPC como la reunión de los siguientes tres elementos clave:

- Conocimiento de las concepciones estudiantiles con respecto a un tópico o un dominio, entendiendo las dificultades específicas de aprendizaje en esa área;
- Conocimiento de representaciones para la enseñanza del tema en cuestión, y
- Conocimiento de estrategias instruccionales que, de alguna forma, incorporen tales representaciones.

De manera similar, Veal y MaKinster (1999) definen el CPC como “la habilidad para *traducir* el contenido temático a un grupo diverso de estudiantes usando

estrategias y métodos de instrucción y evaluación múltiples, tomando en cuenta las limitaciones contextuales, culturales y sociales en el ambiente de aprendizaje”.

Carlsen (1999) describe en un diagrama (figura 1) lo que concibe como CPC y lo que lo diferencia del CD y del CPG y cómo estos dos conocimientos aportan al CPC. Para empezar incluye tres tópicos tanto en el CD como en el CPG. En la figura, el CPC está constituido por cinco elementos:

- El conocimiento de las concepciones alternativas de los aprendices;
- El currículo científico específico;
- Los mejores métodos instruccionales para abordar el tema;
- Los propósitos de la enseñanza de ese tema, en particular, y
- La planeación y administración de la evaluación.

Barnett y Hodson (2001) plantean un nuevo término: “Conocimiento Pedagógico del Contexto” en el camino para entender qué saben los buenos profesores, y qué los diferencia de los que no son tan buenos. Incluyen en él cuatro tipos de conocimiento, siendo uno de ellos el CPC:

1. Conocimiento académico y de investigación;
2. Conocimiento Pedagógico del Contenido;
3. Conocimiento Profesional, y
4. Conocimiento del salón de clases.

Barnett y Hodson incluyen, dentro del Conocimiento Pedagógico del Contenido el uso de:

- Estrategias para enseñar ciencia;
- Estrategias para evaluar el aprendizaje de las ciencias;
- Recursos científicos;
- Recursos de la comunidad;
- Estrategias para integrar la ciencia con otros temas, y
- Estrategias para personalizar la educación en ciencias.

El CPC en el proceso de formación de profesores

Muy pronto después de la primera presentación del concepto del CPC empezaron a surgir las preguntas como “¿Cuáles son los tipos de conocimiento que los profesores necesitan para ser efectivos en sus clases?” (Tamir, 1988). Desde ese momento las diversas propuestas que se han dado sobre formación de profesores tocan, de alguna manera, el CPC.

Desde 1991, Daniel Gil describe el perfil del

docente ideal como el de un profesional crítico, reflexivo y capacitado en diversas y complejas áreas del conocimiento, más allá del contenido de la materia a enseñar (Gil, 1991; Furió, 1994). Debe, adicionalmente, cuestionar sus creencias y el pensamiento docente espontáneo como profesor (Furió, 1995). A pesar de la idealidad de una formación del docente caracterizado de esta manera, se ha concluido que los programas de formación y actualización de profesores necesitan abrir espacios en los que las piezas clave del contenido a enseñar sean sujeto del análisis y discusión didáctica y pedagógica, con centro en el concepto de CPC (Talanquer, 2004).

Clermont, Krajcik, y Borko (1993) realizan una exploración de la naturaleza del crecimiento del CPC que ocurre a profesores de ciencias del nivel medio que participan en un taller intensivo de capacitación sobre enseñanza usando demostraciones para dos conceptos básicos en física y química: la densidad y la presión del aire.

Estos autores encuentran que el CPC de los profesores de ciencias puede crecer a través de talleres intensivos orientados a desarrollar habilidades. Sin embargo, aunque hubo un crecimiento en los repertorios representacional y adaptacional de estos profesores, en otros dos aspectos del CPC parece haber ocurrido mucho menos avance, esto es, en el conocimiento asociado con la evaluación crítica del contenido y con la selección instruccional. Estos hallazgos indican que el CPC es un sistema de conocimiento complejo y sugieren que sus diferentes componentes pueden mostrar diferentes velocidades de crecimiento en una actividad de capacitación.

Actualmente el CPC está incluido en los Estándares de Desarrollo Profesional de los Profesores de Ciencias de los Estados Unidos (National Research Council, pp. 62-68, 1996; Enfield, 1999) y se ha tomado en ese país como una guía para la reforma educativa en los programas de formación de los profesores de ciencias.

Veal (1998) realiza un estudio sobre la evolución del CPC de futuros profesores de química de secundaria sobre aspectos de termodinámica, sometidos a una experiencia formativa consistente de cursos curriculares de ciencia y a una experiencia de campo de práctica docente. Encuentra básicamente lo siguiente:

1. Las futuras profesoras desarrollan diferentes tipos de CPC: general, de dominio específico y de tópico específico, los cuales difieren en sus propósitos, usos y aplicaciones (Veal, 1999); la velo-

Carlsen (1999) y el dominio del conocimiento del profesor

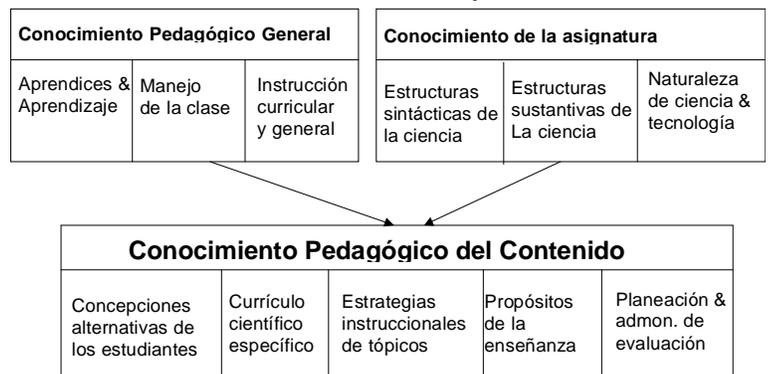


Figura 1. El CPC según Carlsen. Este esquema es presentado en el libro editado por Julie Gess-Newsome y Norman Lederman. Carlsen concibe al CPC con unas componentes más amplias que las incluidas hasta ese punto, pues lo considera como la fusión del conocimiento pedagógico general y el disciplinario de la materia en sí, e incluye al mismo currículo científico específico dentro del CPC.

cidad y el grado de desarrollo de cada uno de estos tipos de CPC se encuentra en función de su formación y experiencia anterior.

2. El desarrollo del CPC de tópico específico ocurrió antes del de dominio específico.
3. Las profesoras demostraron y desarrollaron un entendimiento fundamental de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias que servirá como base para el desarrollo de un CPC de dominio específico mayor.

En los cambios que se han suscitado en los últimos años en los programas de educación de profesores de ciencias, De Jong, Korthagen y Wubbels (1998) ubican como una tendencia común importante el creciente interés en los pensamientos de los profesores de ciencias, especialmente en el conocimiento de la asignatura y en sus concepciones del aprendizaje. Estos autores arriban a las siguientes tres cuestiones prominentes en la formación reciente 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, e
- 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 educación estudiantil.

De Jong, Ahtee, Goodwin, Hatzinikita y Koulaidis (1999), como resultado de un estudio internacional realizado con futuros profesores de química acerca de sus concepciones y preocupaciones en la enseñanza de la combustión, concluyen que, a pesar de la diversidad de currículos nacionales y programas de educación para la enseñanza, los profesores en formación de diferentes países mantienen en común un gran número de concepciones y preocupaciones. Sugieren el mejoramiento del conocimiento de los profesores acerca de tres asuntos relativos a los tópicos científicos escolares:

- a) Las concepciones y preconcepciones propias de los alumnos;
- b) Las dificultades esperadas en la enseñanza, y
- c) Los planes de lección alternativos.

Sánchez-Blanco y Valcárcel-Pérez (2000) han escrito un estudio en el que mencionan la transformación de un profesor en formación de la secundaria cuando toma decisiones sobre el qué y el cómo enseñar el tópico concreto de “el mol y los cálculos químicos”.

Koballa *et al.* (2000), en un estudio realizado sobre las concepciones del aprendizaje y enseñanza de la química de futuros profesores de nivel superior, encontraron que éstos mantienen tres concepciones cualitativamente diferentes del aprendizaje de esta ciencia: a) como un aumento de conocimiento químico de fuentes creíbles, b) como la resolución de problemas químicos, y c) como una construcción de entendimiento personal.

Van Driel, de Jong y Verloop (2002) describen el enriquecimiento del CPC de 12 profesores en formación con relación al tema de la relación “macro-micro” en la enseñanza de la química, durante el primer semestre de su año formativo como posgraduados. Evalúan su conocimiento de la materia, su experiencia docente con respecto a tópicos específicos, el conocimiento de las concepciones y las dificultades de aprendizaje estudiantil, y su participación en talleres de trabajo específicos.

De Jong, Veal y van Driel (2002) analizan en una sección los cursos para desarrollar el conocimiento básico de los profesores de química, sea a través de talleres de trabajo intensivos sobre demostraciones químicas o sobre mapas conceptuales, cursos integrados y experiencias docentes durante su formación. Estos autores ponen énfasis en las bondades que tienen los cursos que integran actividades de taller con la práctica docente. Nos hablan de un curso

diseñado desde una perspectiva constructivista del aprendizaje que considera las siguientes cinco etapas

- Discutir experiencias anteriores como aprendices o como profesores en formación sobre un tópico determinado, para hacer explícito el conocimiento (ambos el CD y el CPC) que tienen los participantes sobre el tema.
- Construir estrategias a partir de este conocimiento base existente, tanto desde una perspectiva del conocimiento de la materia como del pedagógico, por ejemplo, mediante la discusión de artículos de la literatura de investigación educativa acerca de la enseñanza y el aprendizaje del tema.
- Expresar las intenciones de la enseñanza presentes en capítulos de libros de texto apropiados y preparar planes de lecciones para enseñar el tópico.
- Enseñar este tópico en particular a estudiantes dentro del contexto escolar
- Reflexionar sobre el conocimiento base mediante la discusión de informes individuales alrededor de las lecciones impartidas.

Veal (2004) ha explorado las creencias en la enseñanza de futuros profesores de química y su relación con el CPC, y cómo los conocimientos de los profesores en formación se van desarrollando. Para ello utiliza una variación del método llamado “microgenético” en el cual se emplean viñetas como una estrategia de intervención moderada, diseñada para facilitar la indagación (Veal, 2002). Una viñeta es una imagen o descripción de una situación que puede o no tener un escenario problemático. Las viñetas desarrolladas por Veal incluyen aspectos tanto de contenido pedagógico como de conocimientos, tales como: manejo en el salón de clase, aprendizaje del estudiante, estilos y métodos de enseñanza, contenido científico correcto e incorrecto y cuestiones multiculturales. Sus resultados indican que los componentes de CPC observados se desarrollaron a diferentes velocidades en cada uno de los participantes, debido a las experiencias previas que formaron sus creencias. El desarrollo del conocimiento y creencias de los profesores fue sinérgico y basado más sobre la experiencia en el salón de clase y menos a través de los métodos tradicionales (seminarios, clases, literatura).

Vicente Talanquer (2004) dice que hasta la aparición del concepto de CPC hemos dado bandazos en el proceso de formación de profesores.

Insiste en que transformar el conocimiento disciplinario en formas que resulten significativas para

los estudiantes requiere que el docente posea el CPC suficiente para que:

1. “Identifique las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema;
2. Reconozca las probables dificultades conceptuales;
3. Identifique preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas;
4. Seleccione experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos centrales;
5. Construya explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos, y
6. Diseñe actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.”

Recientemente De Jong y Van Driel (2004) han investigado cuáles serían los elementos formativos más preciados para acrecentar el CPC de estudiantes-profesores. Se abocan al tema de la relación *macro-micro* en la educación química y a seguir el desarrollo de dificultades de enseñanza y de dificultades 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.

Con relación al crecimiento del CPC sobre enseñanza experimental, Hofstein y Lunetta (2004) apuntan que “acrecentar en los profesores de ciencias el conocimiento del contenido y su conocimiento pedagógico del contenido puede ayudar a que éstos desarrollen más altos niveles de conocimiento, habilidades y confianza para construir ambientes de aprendizaje efectivos, lo que incluye experiencias científicas de laboratorio más sustantivas y significativas. En esta era de expansión exponencial del conocimiento de ciencia y pedagogía, tal desarrollo debería ser un proceso continuo a lo largo de la vida profesional de un profesor. La literatura ha sugerido que las inconsistencias entre los objetivos del profesor y las limitaciones de sus habilidades, en este caso en el laboratorio escolar, deben dirigirse cuidadosamente en programas de desarrollo profesional de largo plazo diseñados para desarrollar el entendimiento, conocimiento y habilidades de los profesores”.

En los últimos años, Talanquer (2005) se ha dedicado al desarrollo y la implementación de actividades diseñadas para el desarrollo del CPC de profesores de química en formación. Una de las tareas que él ha desarrollado para este fin, la ha denominado “Una Tabla Periódica en un Universo Paralelo”. En esta tarea se propone un ejercicio de análisis de un conjunto de propiedades de los elementos de un supuesto universo paralelo, para intentar que desemboquen en la construcción del diagrama periódico de esos elementos. Se trata de un experimento sumamente creativo en el que los estudiantes-profesores logran revisar el entendimiento básico de conceptos tales como masa atómica relativa, mol, periodicidad, estado de oxidación y composición química.

No cabe duda que la creación del concepto CPC ha dado un vuelco en la metodología de los programas formativos de los profesores de ciencias. Vicente Talanquer *et al.*, (2003), por ejemplo, han trabajado vigorosamente en la Universidad de Arizona para poner al punto el programa de formación de profesores. Han incorporado un curso de tres créditos con el nombre de “Métodos de Enseñanza del Contenido” que versa precisamente sobre el CPC específico del área de concentración del futuro profesor (biología, química, física o ciencias de la tierra). Así, poco a poco, el CPC empieza a ser la manera de identificar variables que determinan la formación de un buen docente, aunque falta mucho por estudiar todavía para resolver las tensiones generadas “por la búsqueda de balance entre conocimiento disciplinario y conocimiento pedagógico, y entre conocimientos teóricos y práctica en el aula” (Talanquer, 2004).

¿Cómo capturar el CPC de los profesores?

Es claro que reconocer y articular el CPC es un proceso complejo y difícil. Hay muchas razones para ello, entre otras que el CPC (Baxter and Lederman, 1999; Loughran *et al.*, 2001b; Garritz *et al.*, 2005):

- No está asociado con la impartición de una determinada lección. Las actividades de la buena docencia pueden contribuir al CPC, pero por lo general no son ejemplos explícitos del CPC por sí mismos. Por ejemplo, al intentar estudiar el conocimiento del profesor sobre sus “mejores ejemplos” no podemos limitarnos exclusivamente a datos observacionales de su clase, ya que el profesor seguramente usará en un cierto episodio sólo algunos pocos de su acumulado conjunto de ejemplos.

- Es una noción compleja que resulta ser reconocible sólo sobre un periodo largo de tiempo, al menos el tiempo requerido para completar una unidad completa de trabajo. En muchas ocasiones el profesor no utiliza toda su “batería” con un grupo dado de estudiantes.
- Es mantenido y conservado inconscientemente por el profesor. Se trata parcialmente de una construcción interna que es tácita y, por lo tanto, difícil de reconocer y expresar por los propios profesores. Involucra, entre otras cuestiones, el conocimiento de las dificultades específicas de aprendizaje de los estudiantes con algún tópico, cuestión que no resulta común escuchar de viva voz de parte de los profesores.

Grossman (1990) identifica cuatro fuentes a partir de las cuales el CPC se genera y desarrolla:

- La observación de las clases, tanto en la etapa de estudiante como en la de profesor-estudiante;
- La formación disciplinaria;
- Los cursos específicos durante la formación como profesor, y
- La experiencia de enseñanza en el salón de clases.

Kagan (1990) titula su artículo como “Maneras de evaluar la Cognición de los Profesores: Inferencias Concernientes al principio de Ricitos de Oro”. Se refiere la autora a que algunos conceptos parecen ser demasiado pequeños (específicos) para una aplicación razonable y otros parecen ser más grandes (vagos, generales o ambiguos) para ser traducidos en términos concretos. En particular, toma el concepto de «cognición de los profesores» como uno que para algunos es demasiado estrecho, al considerar que la noción de que “la competencia de un profesor emerge de la investigación proceso-producto de los años setenta, es decir, enteramente en términos de una «lista de lavandería de objetivos de comportamiento»”, mientras que para otros, que definen la buena enseñanza en términos de la cognición subyacente, resulta ser un término demasiado grande. Kagan encuentra diversas maneras bajo las cuales la investigación sobre la cognición de los profesores resulta ser demasiado vaga o ambigua como para promover su utilización. Sólo tiene sentido hablar de buena docencia, nos dice, cuando existe una «validez ecológica», es decir, cuando dicha docencia se mide en términos de lo que afecta la vida en el salón de clase. Propone Kagan que el actuar de los profesores se mida más con el impacto sobre los estudiantes, en

lugar de a través de su comportamiento en una herramienta o tarea particular. Nos falta mucho para llevar a la práctica la recomendación de Kagan sobre la evaluación de la buena docencia.

Baxter y Lederman (1999) citan como fuentes para extraer el CPC las siguientes:

- Pruebas de lápiz y papel;
- Observación de las clases;
- Elaboración de mapas conceptuales;
- Representaciones pictóricas;
- Entrevistas, y
- Evaluaciones multimétodo.

Más recientemente, Loughran, Mulhall y Berry (2004) nos presentan dos herramientas para recuperar el CPC:

- CoRe (Content Representation) y
- PaP-eRs (Professional and Pedagogical experience Repertoires)

Para obtener la Representación del Contenido (CoRe) empiezan por extraer del profesor las ideas o conceptos centrales de su exposición del tema, y para cada idea central le preguntan:

- ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?
- ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?
- ¿Qué más sabes sobre esta idea? (Lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes).
- ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?
- ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?
- ¿Cuáles otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?
- ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?
- ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea?

Los Repertorios de Experiencia Profesional y Pedagógica (PaP-eRs), por su parte, son explicaciones narrativas del CPC de un profesor para una pieza particular de contenido científico. Cada PaP-eR “desempaca” el pensamiento del profesor alrededor de un elemento del CPC de ese contenido y está basado en observaciones de clase y comentarios hechos por el profesor durante las entrevistas en las cuales se

desarrolla el CoRe (Mulhall, Berry y Loughran, 2003).

Los PaP-ers (Loughran, *et al.*, 2001b), podrían llamarse en español como RePyPs (acrónimo de “Repertorios de experiencia profesional y pedagógica”), pero preferimos la palabra “inventarios”, como la hemos usado en otro artículo (Raviolo y Garritz, 2005).

Se intenta que los inventarios representen el *razonamiento* del profesor, o sea, el pensamiento y acciones de un profesor de ciencia exitoso al enseñar un aspecto específico del contenido científico. La función de la narrativa es elaborar y adentrarse en los elementos interactivos del CPC del profesor, de forma que sea significativa y accesible al lector, y que pueda ser útil para fomentar la reflexión acerca del CPC bajo consideración.

Los inventarios ofrecen una forma de capturar la naturaleza holística y la complejidad del CPC. Tienen la capacidad de expresar un “todo narrativo” y funcionan para explicar en un texto lo que un profesor toma como acciones primordiales al dar su clase.

EL CPC de química

Respecto al CPC en la enseñanza de la química se han encontrado relativamente pocos estudios, dentro de los que podemos mencionar los siguientes:

a) Geddis, Onslow, Beynon y Oesch (1993) presentan un primer ejemplo acerca de cómo los profesores más efectivos logran transformar el contenido de la materia en formas que sean más accesibles para sus estudiantes.

Empiezan con el relato de una estudiante de profesorado, Karen, que lo único que alcanza es a entender el concepto a enseñar y reproduce su conocimiento en la clase con los alumnos de 11° grado, lo cual le toma mucho más tiempo que el especificado en el currículo.

Culminan con la experiencia de Alan, otro profesor-alumno, que es muy bien orientado por su profesor cooperante, Marvin, quien idea una forma de que los alumnos entiendan conceptualmente la masa relativa promedio de los isótopos naturales de un elemento, gracias a una tabla (tabla 1), en la cual los alumnos van calculando la masa promedio de muestras de carbono con un número variable de átomos de ^{12}C , con una masa exacta de 12 uma, y de ^{13}C , con una masa exactamente de 13 uma.

Marvin pide a los estudiantes calcular las masas promedio de la última columna involucrando los dos

Tabla 1.

Ejemplo	Número de átomos		Masa atómica promedio (uma)
	Carbono-12	Carbono-13	
A	1	1	12.5
B	2	1	12.33
C	3	1	12.25
D	4	1	12.2
E	5	1	12.17
F	6	1	12.14
G	7	1	12.12
Carbono como ocurre naturalmente			12.01

átomos presentes en la primera fila, luego los tres átomos de la segunda fila, etc. Y les pregunta: “¿Cuál isótopo es más abundante en el carbono natural? ¿Qué tanto es más abundante?” Para luego hacer la pregunta más difícil: “En el carbono como ocurre naturalmente, ¿cuál es el porcentaje de abundancia de ^{12}C ? ¿Cuál es el de ^{13}C ?”.

Queda claro que Marvin está más enfocado a un aprendizaje *conceptual* que a uno *procedimental*. Así, los buenos profesores pueden ayudar a sus alumnos a entender, a través de ejemplos que son menos complejos, más concretos y más cercanos a la forma de pensar de todos los días.

Geddis *et al.* concluyen su artículo mencionando que son cuatro las categorías en las que juega el conocimiento pedagógico del contenido para transformar el conocimiento académico en formas accesibles para los estudiantes:

1. El conocimiento de las concepciones alternativas de los alumnos;
2. Estrategias de enseñanza efectivas que toman en consideración ese conocimiento;
3. Representaciones alternativas del tópico a enseñar.
4. Lo sobresaliente en el currículo de los temas de la asignatura.

En un segundo artículo, el primer autor aprovecha este mismo orden para presentar el tópico de “corriente eléctrica”, siempre empezando con las concepciones alternativas de los alumnos y construyendo a partir de ellas las estrategias más apropiadas para el aprendizaje (Geddis, 1993).

b) Unos autores ya citados en relación con la formación de profesores (Clermont, Borko y Krajcik, 1994), examinan el CPC de profesores de química,

tanto con experiencia como principiantes, que usan como estrategia la enseñanza por demostraciones, ya que ésta se considera un componente importante del repertorio pedagógico de los profesores de ciencias y es un área que no está bien desarrollada.

Los hallazgos sugieren que los profesores con experiencia, comparados con los novatos, poseen un mejor repertorio adaptacional y representacional para la enseñanza de conceptos fundamentales en química. También parecen ser más conocedores de la complejidad de las demostraciones químicas, cómo dicha complejidad puede interferir con el aprendizaje y cómo las demostraciones químicas más simples pueden promover mejor el aprendizaje de conceptos.

c) Thiele y Treagust (1994) instan a desarrollar repertorios docentes de analogías para cada tema de la química, aunque reconocen que no sólo es necesario que los profesores cuenten con ese repertorio, sino también deberían contar con un modelo de enseñanza que guíe el uso de esas analogías. Ese modelo, para la enseñanza con analogías, debería incluir un momento para establecer las similitudes y no similitudes entre análogo y objetivo.

d) Van Driel, Verloop y de Vós (1998) realizan un estudio empírico enfocado al CPC de un tópico específico, el equilibrio químico. Encuentran que las estrategias de enseñanza identificadas en el estudio no son útiles en un sentido universal, sino se refieren exclusivamente al tópico involucrado; aún más, como los profesores enseñan tópicos específicos, estas estrategias adicionan un elemento único y valioso al conocimiento básico educacional.

e) Dawkins y Butler (2001) analizan el CPC de siete estudiantes del profesorado de ciencias del segundo año universitario respecto al concepto de mol. Encuentran que las estrategias empleadas por ellos para la enseñanza tienen marcada influencia de los libros de texto de química, en los cuales no siempre se presentan los conceptos como los manejan los científicos (no usan, por ejemplo, el término “cantidad de sustancia”). Asimismo, hallan que un entendimiento claro del concepto no necesariamente implica que se usen las estrategias más adecuadas para la resolución de problemas relativos a la proporción entre masa y moles.

Sobre este mismo tema de los cálculos químicos y el concepto de mol presentan resultados Sánchez-Blanco y Valcárcel-Pérez (2000). Dicen que la dificultad de enseñar este tema es que “el mol es un concepto poco claro y abstracto, el número de Avo-

gado es difícil de imaginar por su magnitud, los cálculos químicos requieren el concepto de proporcionalidad”. Indican, finalmente, que los profesores se enfrentan con problemas: “No sé plantear experiencias concretas para estos contenidos; no sé actividades prácticas para introducir el tema, o para que los alumnos puedan deducir a partir de ellas los conceptos, como me habría gustado”.

f) De Jong, Vealy Van Driel (2002) realizan una recopilación de los estudios llevados a cabo con un enfoque sobre el conocimiento básico de los profesores de química, centrándose sobre el CD y el CPC, esto es, los dos tipos de conocimiento que están determinados por la naturaleza del tópico específico enseñado.

Estos autores resumen la variedad de aspectos del CPC de los profesores de química de la siguiente manera:

1. Los profesores de química con insuficiente CPC de tópicos específicos pueden, en ocasiones, realizar demostraciones de esos tópicos que pueden reforzar las concepciones alternativas de los estudiantes.
2. Un excelente CD, el conocimiento de cómo aprenden los estudiantes y el conocimiento de representaciones alternativas, son requisito para la selección y uso de explicaciones analógicas apropiadas y efectivas.
3. La selección, por parte de los profesores de química, de una estrategia para la enseñanza de cálculos estequiométricos con frecuencia no es muy adecuada desde la perspectiva del aprendizaje del estudiante.

g) Un trabajo sobre este tema en el bachillerato es el de Treagust, Chittleborough y Mamiala (2003), en el que analizan, con ejemplos, los cinco tipos de explicaciones que emplean los profesores durante sus clases introductorias de fisicoquímica y de química orgánica, acerca de los tres niveles de representación usados en la química, el macroscópico, el submicroscópico y el simbólico:

1. Analógicas (un fenómeno o experiencia familiar se emplea para explicar algo poco familiar);
2. Antropomórficas (a un fenómeno se le dan características humanas para hacerlo más familiar);
3. Relacionales (una explicación que es relevante dada las experiencias personales de los aprendices);
4. Basadas en problemas (una explicación demostrada a través de la resolución de algún problema);

5. Basadas en modelos (Utilizar un modelo científico para explicar un fenómeno).

h) Hofstein *et al.* (2003, 2004) nos presentan el desarrollo de liderazgo entre los profesores de química en Israel a consecuencia de la implantación de nuevos contenidos y de estándares pedagógicos en la educación científica en ese país. Las características de liderazgo que asumen en su trabajo tienen que ver con motivación, autoconfianza, creatividad, integridad, responsabilidad y carisma, logradas por el desarrollo *personal*, el desarrollo *profesional* y la dimensión *social* de los profesores. En los aspectos profesionales describen tanto el desarrollo del CD como del CPC, a lo cual se dedican durante todo el primer año del programa de liderazgo.

i) Una propuesta interesante es la de Bucat (2004), quien convoca a profesores, químicos e investigadores en educación química a trabajar juntos para integrar los hallazgos pedagógicos, químicos y de investigación educativa y crear una colección de CPC sistematizado y documentado. Nos da una serie de ejemplos de CPC en la enseñanza de la química para la ley de acción de masas, de los símbolos y el lenguaje químicos, de la sustitución nucleofílica y las reacciones de eliminación, de la simetría molecular, la enantiomería, y otros temas. Sostiene que existen miles de discusiones y consejos sobre la enseñanza de los distintos temas, pero no hay una colección sistemática basada en la investigación y análisis de aspectos particulares de una temática, acompañada por la evaluación en el aula.

j) Después de los trabajos de Clermont, Borko y Krajcik sobre el CPC obtenido con talleres de trabajo sobre demostraciones, hay tres trabajos recientes que exploran estos aspectos para la enseñanza práctica (Hofstein y Lunetta, 2004; Hofstein, 2004; Bond-Robinson, 2005), con lo cual ha vuelto a ponerse en el candelero este tema. Por ejemplo, este último trabajo habla de conocimiento pedagógico químico (CPQ) ya que el contenido explorado es de química experimental. Mediante análisis de factores llega a concluir que existen dos en las respuestas de los estudiantes de licenciatura con relación a la labor prestada por sus asistentes de enseñanza (que son estudiantes de grado), uno de ellos tiene que ver con el CPQ y el otro con su labor general como mentores. Con relación al primero logra clasificar tres grados de CPQ, los cuales se ejemplifican en la tabla 2 y que pueden ser útiles para caracterizar el grado de CPQ presente en un profesor dado.

Una conclusión general de todos estos artículos

Tabla 2. Intensidades del Conocimiento Pedagógico Químico en la enseñanza experimental, según Bond-Robinson (2005).

Grado del CPQ	Conocimiento requerido	Ejemplos
CPQ-1	Conocimiento procedimental general; técnicas específicas; procedimientos; cálculos y conocimiento sobre seguridad en cada investigación del laboratorio.	Modela y refuerza medidas de seguridad; demuestra técnicas; ataca problemas en el laboratorio; proporciona guía a los alumnos.
CPQ-2	Comprensión de los tópicos y los conceptos de química, para transformarlos para que hagan sentido en los alumnos.	Correlaciona los hechos macroscópicos con los procesos del dominio submicroscópico; escoge ejemplos sabiamente; liga símbolos químicos con variables matemáticas y procesos en el micromundo.
CPQ-3	Conocimiento flexible para probar y guiar el razonamiento estudiantil, así como confianza en sus conocimientos y su papel para dirigir el ambiente de aprendizaje.	Usa estrategias de preguntas para probar el razonamiento conceptual; proporciona una guía directa ocasional; dirige a los alumnos a trabajar a través de preguntas o problemas procedimentales.

es que para contribuir a su comprensión cabal es necesario realizar estudios sobre el CPC en tópicos específicos. Como De Jong, Væl y Van Driel (2002) han apuntado, “no se conoce mucho acerca de la base de conocimientos de los profesores de química con respecto a temas como los de la bioquímica, la tecnología química y la cinética”.

Hacen falta más estudios sobre el conocimiento básico con que cuentan los profesores de química de nuestros países y es muy importante conocer este aspecto para mejorar el proceso educativo de la química. Ésta es la razón de la siguiente sección de este trabajo, en la que nos abocamos a desglosar el CPC presente en varios proyectos curriculares renovadores sobre el tema de la estructura corpuscular de la materia (Nussbaum, 1985; CLIS, 1987; MAM, 1988; Martínez Torregrosa *et al.*, 1997; Gómez Crespo *et al.*, 2004) y después a relatar cómo capturamos el CPC de una decena de profesores del bachillerato mexicano respecto a este mismo tema y a comentar algunos de nuestros resultados (Garritz *et al.*, 2005).

La estructura corpuscular de la materia. Algunos proyectos renovadores

Joseph Nussbaum

Este investigador israelí hizo un trabajo pionero con S. Novick sobre las concepciones alternativas de los estudiantes de la secundaria acerca de la estructura

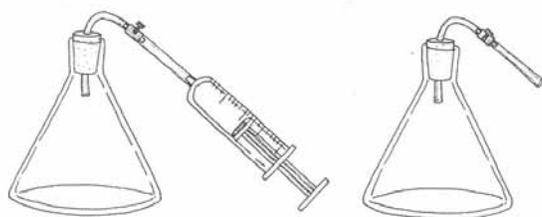


Figura 2. Aparato para extraer aire de un frasco. La primera figura es la acción antes de extraer el aire y la segunda una vez extraído el mismo. “Tarea 1. Supón que dispones de unas gafas mágicas con las que puedes ver el aire que está en el interior del frasco. Dibuja cómo lo verías antes y después de utilizar la bomba de vacío para extraer algo de aire.”

de la materia (en particular de los gases) (ver un resumen de las concepciones alternativas sobre este tema en Hierrezuelo y Montero, 1988; Trinidad-Velasco y Garritz, 2003). Novick y Nussbaum (1978) se propusieron conocer la estructura de las representaciones de los alumnos israelitas (13-14 años), para lo cual usaron un método de entrevista, la cual incluyó preguntas sobre tres fenómenos diferentes que involucraban a la fase gaseosa y el desarrollo de ocho tareas. Hallan en una cierta proporción de los alumnos encuestados, entre otros aspectos, que sienten que el aire no se asienta en el fondo de un recipiente debido a su gravedad específica baja; aspecto que va de acuerdo con una concepción continua de la materia. En otro trabajo, Novick y Nussbaum (1981) dicen que si bien los estudiantes llegan a decir que el aire está hecho de partículas invisibles, ellos no han abandonado realmente su concepción continua de la materia. Cuando se les pide, por ejemplo, dibujar una “imagen completa” de la estructura interna del aire, probablemente ellos llenan los espacios entre las partículas hasta que llega a ser una imagen continua de puntos. Nussbaum y Novick (1982) proponen, a partir de sus hallazgos, que el cambio conceptual puede alcanzarse al retar las concepciones estudiantiles mediante el conflicto cognitivo.

Años más tarde, Nussbaum (1985) nos presenta en un famoso libro editado entre otros por Rosalind Driver, las ilustraciones de las figuras 2 y 3, en donde encuentra claramente representaciones continuas de la materia (parte “a” de la ilustración 3) y representaciones discretas (parte “b” de la ilustración 3) seleccionadas por los alumnos.

Ésta es una de las primeras veces que se pide a

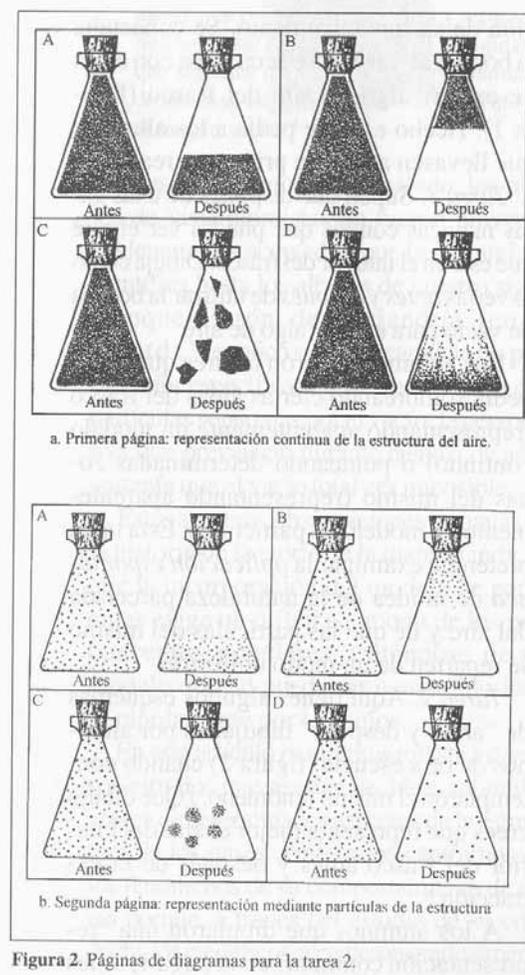


Figura 2. Páginas de diagramas para la tarea 2.

Figura 3. Páginas de diagramas para la Tarea 2: “Aquí tienes algunos esquemas de “antes y después” dibujados por alumnos de otra escuela cuando contemplaron el mismo fenómeno. ¿Qué dibujo crees que representa mejor el aire del interior del frasco antes y después de la extracción?”

los alumnos que “imaginen” cómo está constituida la materia en su interior, con el uso de unos lentes mágicos. Esta estrategia se habría de generalizar posteriormente como parte del CPC de los profesores (ver ejemplos en CLIS, 1987; MAM, 1988; Martínez-Torregrosa *et al.*, 1997). Kind (2004) nos cita, por ejemplo, como sugerencias para mejorar la comprensión de los alumnos, “introducir la idea de un «átomos-copio» o la idea que ellos tienen de «lentes moleculares» con los que se pudieran «ver» los átomos”.

En su tercera tarea, Nussbaum pide entonces a los alumnos explicar qué hay entre los puntos de los dibujos, con lo que encuentra por primera vez lo difícil que es que los estudiantes conciban el vacío

entre las partículas. Pocos años después, Llorens (1988) vuelve a encontrar en España que sólo 22.1% de los alumnos responden adecuadamente a la pregunta de qué hay entre las moléculas (ver el diagrama 1).

Nussbaum concluye con algo que debe formar parte del CPC de todos los profesores, que “los aspectos de la teoría de partículas más difícilmente asimilables por los alumnos son los más disonantes con sus concepciones antecedentes de la naturaleza de la materia. Estos aspectos son: el espacio vacío (el concepto de vacío), el movimiento intrínseco (cinética de partículas) y la interacción entre partículas (transformación química).”

Proyecto “Children’s Learning in Science” (CLIS)

En este proyecto se presenta una secuencia llamada constructivista por Duit (1999) propuesta para la enseñanza de la teoría corpuscular de la materia y presentada formalmente como investigación años más tarde por Driver y Scott (1996).

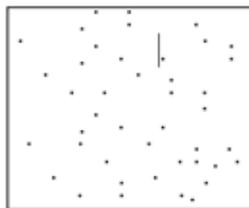
Hewson y Beeth (1995), han propuesto que toda secuencia de enseñanza con las siguientes etapas puede considerarse como una que busca el cambio conceptual dentro de una concepción constructivista:

a) Las ideas de los alumnos deben ser una parte *explícita* del debate en el aula. Se trata de que los alumnos sean conscientes de sus propias ideas y de las ideas de los demás. Además, a diferencia de los enfoques tradicionales, las opiniones de los alumnos deberían considerarse al mismo nivel que las del profesor. Los alumnos han de darse cuenta de que las ideas tienen autoridad por su poder explicativo, no por la fuente de donde proceden.

b) El estatus de las ideas tiene que ser discutido y negociado. Como una consecuencia de la primera condición, una vez que todas las ideas han sido provocadas, los alumnos deben *decidir* acerca del estatus de sus propias opiniones y de las opiniones de los demás. En esta elección intervienen, además de la propia ecología conceptual, sus criterios epistemológicos acerca del conocimiento científico y acerca de qué constituye una explicación aceptable.

c) La *justificación* de las ideas debe ser un componente explícito del plan de estudios. Que los alumnos consideren que las nuevas concepciones son plausibles y útiles puede depender de varios factores: que las nuevas concepciones parezcan verdaderas y compatibles con otras concepciones previas o aprendidas, que las concepciones no contradigan las ideas metafísicas de los alumnos, que la idea aparezca

Diagrama 1. Item 3 de Llorens (1988). Probablemente habrás oído decir que la materia está formada por pequeñas partículas tales como los átomos y las moléculas. Si representamos todas las partículas de los distintos gases que componen una pequeña muestra de aire, así:



¿Qué crees que hay entre estas partículas?

a) Más aire	22.6 %
b) Otros gases	34.8 %
c) Nada	22.1 %
d) Una sustancia muy ligera que lo rellena todo	13.4 %
e) No lo sé	6.4 %

como general o como consistente y que ello coincida con los compromisos epistemológicos de los alumnos, etc.

d) El debate en el aula debe tener en cuenta la *metacognición*. Cuando los alumnos comentan, comparan y deciden sobre la utilidad, la plausibilidad y la consistencia de las concepciones que se presentan, están explicitando sus propios criterios de comprensión. La aceptación o no de las nuevas ideas y el rechazo de las ideas previas depende en gran medida de los patrones metacognitivos de los alumnos: ¿satisface una nueva concepción las lagunas que plantea la anterior?, ¿es capaz el alumno de detectar fallos en la capacidad explicativa de sus propias ideas?, ¿cómo comparar el poder explicativo, sin duda elevado, de las concepciones previas con el de las nuevas concepciones, etcétera?

En el diagrama 2 se presentan las seis etapas declaradas en el proyecto CLIS (1987), que satisfacen plenamente las cuatro características señaladas por Hewson y Beeth (1995), pues se empieza por provocar la salida de las ideas de los alumnos y se culmina con la aceptación de una teoría más acorde con las ideas intercambiadas y puestas en jaque con el grupo.

Las actividades diseñadas para provocar la expresión de las ideas estudiantiles están referidas en el diagrama 3. Otras tres experiencias se colocan como tarea para que la desarrollen los alumnos con posterioridad: una sobre la fusión del hielo, otra sobre el olor del gas licuado de petróleo y una tercera sobre el matraz al cual se le extrae el aire parcialmente, tomada de Nussbaum (1985).

La forma en la que debe participar el maestro o

Diagrama 2. Wightman, Johnston y Scott marcan las siguientes seis sesiones como las componentes del proyecto CLIS, las cuales se desarrollan en diez sesiones dobles:

Parte A (dos sesiones dobles, de 70 a 80 minutos cada una): En estas sesiones el profesor conoce las ideas de los alumnos y éstos toman conciencia de sus propias ideas en relación con las variadas propiedades de la materia.

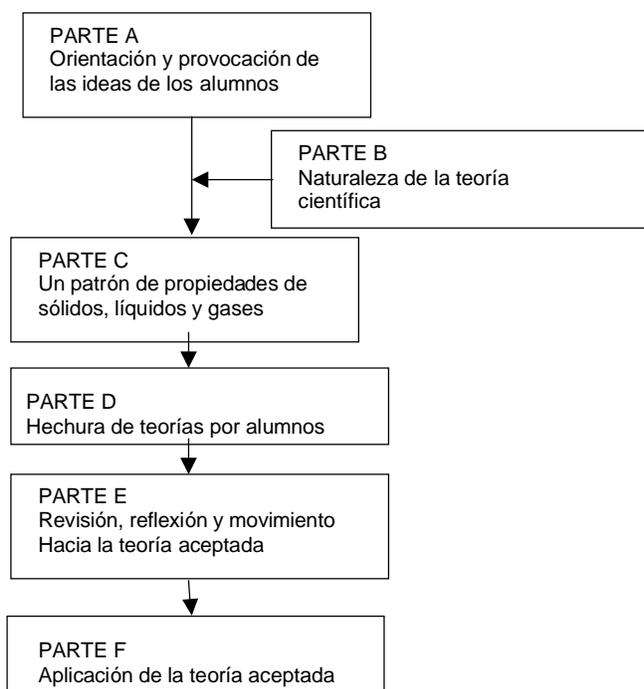
Parte B (una sesión doble): Los alumnos se volverán activos en la hechura de una teoría científica con posterioridad. En esta sesión ellos se introducen en la naturaleza de las teorías científicas y en su elaboración.

Parte C (dos sesiones dobles): La hechura de la teoría se basará en hallar patrones de comportamiento. En estas sesiones los alumnos consideran patrones en el comportamiento de sólidos, líquidos y gases.

Parte D (una sesión doble): Los alumnos desarrollan sus propias teorías sobre la naturaleza de sólidos, líquidos y gases.

Parte E (dos sesiones dobles): Las teorías de los alumnos son comparadas y evaluadas por los miembros de la clase. El profesor introduce actividades que animan a los alumnos a evaluar, desarrollar y cambiar sus ideas.

Parte F (dos sesiones dobles): Se dan oportunidades a los alumnos para desarrollar ideas nuevas acerca de la naturaleza y el comportamiento de la materia, tanto en situaciones usuales como novedosas.



maestra en una estrategia constructivista debe adquirirse como una parte del CPC. Aunque los profesores están acostumbrados a laborar con grupos de trabajo en un contexto práctico, pocos tenían la costumbre de trabajar con grupos en discusión con una base de regularidad. Como un ejemplo de muchas cuestiones que se recomiendan a los profesores como parte del CPC, colocamos a continuación las que se dan respecto al trabajo en grupo a los poco familiarizados con este tipo de labor:

Diagrama 3. Actividades experimentales diseñadas para que los alumnos expresen sus ideas.

1. Jeringas. Se pide a los alumnos que empujen el émbolo de tres jeringas, una con aire, otra con agua y una tercera con arena.

2. Bloques. Se pide que encuentren cuestiones comunes y diversas entre dos bloques de diferentes materiales, los cuales tienen el mismo tamaño, pero diferente peso.

3. Hoja de afeitar. Se pide a los alumnos que hagan flotar una hoja de afeitar sin filo.

4. Chasquido. Se añaden pesas a un alambre de cobre, hasta que se deforma y se rompe.

5. Fundido. Se calienta una tira de cera y se pide a los alumnos que observen.

6. Agua. Se pide que comparen el nivel del líquido antes y después de calentar hasta hacer hervir una muestra de agua.

7. Refrescante de aire. Se pide que huelan el aroma de un aromatizante de aire y se les pregunta ¿qué es lo que huele?, ¿por qué huele?

1. El óptimo número de alumnos por grupo parece ser de cuatro.
2. Es una estrategia útil pedir a los alumnos empezar la discusión en pares y después armar grupos de cuatro integrantes.
3. Es mejor dejar que los alumnos seleccionen el grupo al cual desean pertenecer.
4. Poner más atención a los grupos en los que se mezclen géneros, buscando que se dé la equidad en la participación.
5. Animar a los alumnos a sentarse rodeando una mesa, en lugar de hacerlo en líneas.
6. Poner un tiempo límite.
7. Dejar clara la tarea para todos los alumnos y dar un fin focal a la tarea, por ejemplo “al final de la discusión, cada grupo va a producir un póster” o “un orador de cada grupo va a informar de sus hallazgos al resto de la clase”.

Con relación a las cuestiones por evitar:

1. Usted puede inhibir el trabajo de los grupos si se encuentra rodeándolos constantemente.
2. Pida que respondan preguntas cerradas y concretas.
3. Está mal indicar que un alumno o un grupo tiene ideas erróneas, o no tan valiosas como las traídas a colación por algún otro individuo o grupo.

No cabe duda de que se requiere un CPC muy especial para desarrollar adecuadamente las labores

Diagrama 4. Los nueve capítulos de "Materia y moléculas".

1. Estados del agua.
2. Otros sólidos, líquidos y gases.
3. El aire alrededor de nosotros.
4. Compresión y expansión.
5. Explicación de la disolución.
6. Calentamiento y enfriamiento, expansión y contracción.
7. Explicación de fusión y solidificación.
8. Explicación de evaporación y ebullición.
9. Explicación de la condensación.

de enseñanza cooperativa propias del constructivismo. Sobre todo si el profesor ha de actuar en la búsqueda de que los alumnos cambien sus ideas para acercarlas lo más posible al contexto científico, debe participar con preguntas clave que pongan en reto a las concepciones estudiantiles. Entre muchas otras cuestiones, y conociendo muy bien las concepciones alternativas más comunes entre los alumnos, se pide al profesor en este proyecto que haga las siguientes preguntas a los alumnos, que parece que consideran las alertas de Nussbaum (1985):

1. ¿Qué existe entre las partículas?
2. ¿Qué mantiene a las partículas juntas?
3. ¿Se mueven las partículas?

Matter and molecules

Este proyecto fue aplicado entre 1986 y 1988 por académicos del "Institute for Research on Teaching", de la Universidad Estatal de Michigan, en Estados Unidos, y está basado en la teoría del cambio conceptual. Consta de un libro de Ciencia, uno de Actividades para los alumnos y otros con los mismos títulos para los profesores. La acción está guiada por el libro de ciencia para los alumnos, el cual es complementado por el que contiene las actividades a desarrollar.

En el diagrama 4 hemos colocado los nombres de los nueve capítulos de este proyecto, que empieza recogiendo una serie de actividades con el agua, para después generalizar a otros líquidos, sólidos y gases. Desde el primero aparece el concepto de partícula como constituyente elemental de las muestras de materia.

Los libros para los profesores contienen información complementaria para el maestro, entre otras cuestiones lo que debe aprender de CPC para poder enfrentar al grupo con éxito. Por ejemplo, al inicio

Diagrama 5. Contraste entre los patrones comunes en el pensamiento de los estudiantes con los pensamientos científicos alrededor de algunos temas importantes de este capítulo.

Tema	Concepción científica	Concepciones estudiantiles
Conservación de la materia.	La materia se conserva en toda transformación física.	La materia no siempre se conserva, especialmente en cambios que involucran a gases (i.e. el agua desaparece cuando se le calienta).
Constitución molecular de la materia.	Toda la materia está hecha de moléculas.	Las moléculas están entre las sustancias (i.e. el agua tiene moléculas en ella, con agua entre las moléculas).
Movimiento constante.	Todas las moléculas están moviéndose constantemente.	Las moléculas están en ocasiones detenidas, especialmente en los sólidos.

de cada capítulo, el libro de ciencia del maestro tiene una tabla con las concepciones estudiantiles más comunes. En el diagrama 5 presentamos el ejemplo de una porción de dicha tabla dada en el capítulo 1.

Para reforzar el CPC de los maestros, el libro de ciencias tiene para cada capítulo un listado de objetivos a cumplir, un conjunto de elementos clave para lograr una buena descripción del tema y unas guías para el aprendizaje conceptual de los alumnos. Se mencionan a continuación los conceptos que son difíciles de entender, como los dados en el diagrama 6, que están tomados del primer capítulo.

Años más tarde, los autores de este proyecto publicaron una evaluación de la aplicación de su

Diagrama 6. Conceptos de difícil aprendizaje.

- 1. Tamaño de las moléculas.** El tamaño de las moléculas es algo difícil de aprender por los estudiantes porque sale de los tamaños de sus experiencias normales. Muchos estudiantes piensan que las moléculas son pequeñas, como un polvo, una bacteria o una célula, que pueden verse al microscopio. Las moléculas son realmente demasiado pequeñas como para poder ser vistas.
- 2. Las moléculas están en constante movimiento.** Ésta es otra fuente de problemas para los estudiantes. Las moléculas están en constante movimiento, aun en sustancias como el hielo donde no es visible ningún movimiento aparente (lo que sí sucede con el agua líquida, donde el movimiento del flujo puede interpretarse como movimiento molecular).
- 3. El comportamiento de las moléculas crea las propiedades de la sustancia.** Los estudiantes se confunden frecuentemente entre las propiedades observables de una sustancia y las propiedades de las moléculas. Piensan que las moléculas tienen el mismo comportamiento que la sustancia experimenta como un todo. Esta concepción recibe el nombre de "substancialización" del comportamiento molecular.
- 4. Las moléculas hacen las sustancias.** Muchos alumnos creen que hay moléculas como sumergidas en las sustancias, en lugar de pensar que las sustancias están hechas de moléculas. Debe hacerse énfasis que el agua está hecha solamente de moléculas y que no existe nada entre ellas.

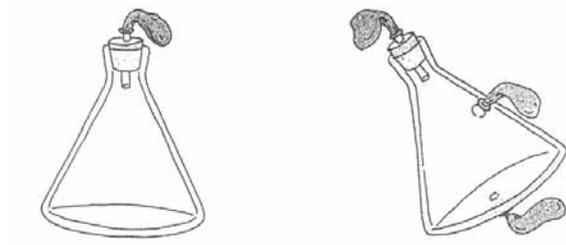


Figura 4. "Al calentar el matraz de la primera figura, el globo se hincha. Representad el aire antes y después de calentar y explicad qué es lo que hace que se hinche. ¿Y en el caso de la segunda figura?".

desarrollo curricular (Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer y Blakeslee, 1993). Este estudio muestra un avance de este currículo frente a otro más tradicional. Sin embargo, revela igualmente la gran dificultad de los estudiantes para asimilar las concepciones científicas que rodean la constitución molecular de la materia. Después de la enseñanza permanecen en una buena proporción de los alumnos concepciones no científicas, como la de la naturaleza continua de la materia o que las moléculas tienen las mismas propiedades que la materia en bulto. Se preguntan cómo es posible que sin haber admitido la estructura corpuscular pueda entrarse a otros temas de las ciencias de la vida, como ósmosis y difusión, fotosíntesis, respiración celular, digestión, transpiración, el ciclo del agua, el ciclo de la materia ecológica y tantos otros.

Joaquín Martínez Torregrosa

Martínez-Torregrosa *et al.* (1997) presentan un escrito en el que desarrollan el modelo cinético-corpuscular de la materia con base en un enfoque netamente experimental. En este sentido, permite desarrollar el CPC relacionado con la parte práctica necesaria para el aprendizaje de la estructura corpuscular de la materia (Bond-Robinson, 2005). Su base es una estrategia expositiva que describe las teorías científicas frente a otros modelos alternos, y se dedica a la realización de tareas de fundamento y aplicación de esas teorías, con un enfoque de aprendizaje por indagación (Hofstein y Lunetta, 2004).

La idea es generar la duda acerca de la estructura de la materia, en la búsqueda de una «concepción unitaria de materia». ¿Cuál es la estructura de los materiales? (¿cómo son «por dentro»?). Deciden in-

vestigar primero la estructura de los gases, y luego se preguntan si el modelo es extensible a sólidos y líquidos.

Gracias a que los gases se difunden rápidamente parten de la idea de que están compuestos de pequeñas partículas en movimiento. Ponen a consideración de los alumnos otro tipo de modelos, los cuales fracasan poco a poco si se intenta que expliquen propiedades como la compresibilidad, la difusividad, la presión, la dilatación térmica, etc.

Utilizan a continuación el ejemplo de Nussbaum sobre cómo se verían las partículas del gas que ocupa un matraz, antes y después de haber aplicado una extracción parcial de gas con una jeringa. De la misma forma presentan el ejemplo de un matraz con una a tres entradas en las que se coloca un globo en cada una y los globos se hinchan en cuanto se calienta el gas (figura 4). El uso del matraz con tres globos es porque los alumnos piensan erróneamente que el gas que se calienta se expande solamente hacia arriba y no hacia los lados o hacia abajo.

Relacionan entonces la temperatura de los gases con la velocidad de las partículas en su interior. Abordan ahora el problema del vacío y el del ínfimo tamaño de las partículas, diciendo en un momento dado que "no es fácil asumir plenamente el modelo cinético corpuscular y, de hecho, muchas personas tienden a malinterpretarlo". Se introducen en este momento a las propiedades de presión, volumen y temperatura de los gases, por medio de un trabajo experimental opcional con jeringas y pesas para elevar la presión a voluntad y relacionar la presión con el volumen, a temperatura constante.

Avanza el planteamiento y Martínez-Torregrosa *et al.* extienden el modelo corpuscular a sólidos y líquidos, hablando de las grandes distancias entre partículas en el gas que se convierten en pequeñas distancias en el líquido o el sólido, fase esta última en la que las partículas se encuentran vibrando alrededor de puntos de equilibrio. Proponen diversos experimentos para soportar los aspectos del modelo en líquidos o sólidos, por ejemplo:

- a) con una lata de aceite que se calienta, luego se cierra y deforma al enfriarse, y posteriormente vuelve a adquirir la forma original mediante un nuevo calentamiento.
- b) La relativa incompresibilidad de sólidos o líquidos.
- c) La existencia de gases a baja temperatura (aire a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y de sólidos a muy alta temperatura (una barra de metal a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Finalmente, los autores plantean varios problemas abiertos, como por ejemplo “haced una lista con algunas propiedades que aún no hayamos explicado con el modelo cinético corpuscular” o “plantead preguntas sobre las partículas o corpúsculos que forman los gases, líquidos o sólidos, que sea necesario investigar”. Desembocan en una serie de preguntas complejas, tales como “¿Cuál es la naturaleza de las fuerzas que existen entre las partículas?” o “¿Qué es lo que mantiene a las partículas en movimiento?” o “¿A qué se debe la existencia de millones de sustancias distintas?”. Aclaran que la investigación bien realizada siempre abre nuevas preguntas.

Miguel Ángel Gómez Crespo, Juan Ignacio Pozo y María S. Gutiérrez Julián

Miguel Ángel Gómez Crespo y Juan Ignacio Pozo llevan más de 15 años investigando las concepciones alternativas de los alumnos de la asignatura de química. Daremos un breve repaso a algunos de sus estudios clave, que desembocan en una propuesta didáctica que se basa en la teoría del cambio conceptual, pues argumentan que en la medida en que los alumnos contrasten sus representaciones macroscópicas con las del modelo microscópico cinético-corpúscular puede darse más cercanamente la concepción científica.

Pozo, Gómez Crespo, Limón y Sanz (1991) nos presentan un libro donde exploran las ideas de los adolescentes sobre la química, en el que plantean que los tres núcleos conceptuales que el alumno debe dominar para comprender la Química son los siguientes:

- La comprensión de la naturaleza discontinua de la materia.
- La conservación de propiedades no observables de la materia.
- La cuantificación de relaciones.

Con relación al primer punto, nos dicen los autores, el obstáculo fundamental para los estudiantes subyace en la representación de lo no observable. En la medida en que el alumno debe abandonar los indicios perceptivos como fuente de representaciones con respecto a la estructura de la materia, carece de ningún otro código de representación alternativo. Dicho en otras palabras, si las imágenes que el alumno recibe del mundo no son suficientes para que comprenda la estructura de la materia, el papel de la enseñanza es proporcionarle sistemas de representación alternativos que le permitan conocer su

naturaleza. Parece ser que los sistemas proposicionales que se le dan en las lecciones –matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos–, junto con una utilización muy escasa de representaciones analógicas –basadas en imágenes–, no resultan suficientes. De ser cierta esta interpretación, se precisaría un esfuerzo en la elaboración de sistemas de representación alternativos para la didáctica de la química, no sólo analíticos o proposicionales, sino fundamentalmente analógicos. Así, la analogía debe desempeñar una labor especial en la enseñanza de las ciencias y muy especialmente en el caso de la química.

Pozo, Gómez-Crespo y Sanz (1999) retoman el problema de la naturaleza del cambio conceptual acerca de la naturaleza de la materia. Apuntan los autores que después de haber estudiado química en la escuela secundaria, y aun en la universidad, muchos estudiantes mantienen sus concepciones alternativas sobre la materia. Así, en lugar de interpretar la materia en términos de representaciones microscópicas, los estudiantes conservan sus representaciones macroscópicas, basadas en la apariencia directa de la realidad, es decir, conciben la materia como continua, usualmente estática y sin vacío entre sus partes. Los resultados del aprendizaje de la química nos sugieren que, como ocurre en otros dominios de la ciencia, las teorías personales (en este caso basadas en representaciones macroscópicas) no son reemplazadas en la mayoría de los estudiantes por la teoría científica enseñada (basada en representaciones microscópicas).

Sugieren, después de apuntar lo anterior, que quizás el cambio conceptual no necesariamente involucra el reemplazo de una clase de representación por otra, sino la coexistencia e integración de diferentes representaciones empleándolas para diferentes tareas. Esta interpretación es consistente con las teorías más recientes de representación cognitiva, tal como la de los modelos mentales (Gentner y Stevens, 1983), que mantiene la existencia de múltiples representaciones mentales que compiten por su activación en cada tarea o para cada contexto. Culmina su artículo, después de estudiar 120 sujetos hispanos de entre 12 y 17 años, considerando que el cambio de la función cognitiva –de descriptiva a explicativa– es el objetivo central del cambio conceptual en química. De esta manera, aprender química no requiere el reemplazo de las representaciones previas, sino un cambio en su función cognitiva, integrándolas en nuevas teorías o modelos conceptuales, que provee-

rán a las representaciones viejas con un significado diferente y más teórico. Por lo tanto, las representaciones intuitivas macroscópicas, útiles para describir el mundo en que vivimos, no necesariamente serán removidas, sino meramente cambiadas, en el sentido de re-interpretadas desde un nuevo punto de vista teórico. En este sentido, la enseñanza de las ciencias no debe pretender reemplazar concepciones alternativas por conceptos científicos, sino lograr que los estudiantes reflexionen entre las diferencias conceptuales y funcionales entre estos dos sistemas de conocimiento aparentemente traslapados.

Gómez-Crespo y Pozo (2000) nos dicen que los alumnos mantienen una concepción continua de la materia, tanto antes de la instrucción como después de ella, porque esta concepción está profundamente arraigada a nuestra percepción macroscópica del mundo. Es por ende una de las más resistentes al cambio conceptual y, asimismo, una de las más consistentes; de hecho, en la comprensión de la estructura de la materia, las concepciones continuas

proporcionan representaciones más consistentes entre los adolescentes que la propia idea de vacío o discontinuidad entre las partículas. En este estudio llevan a cabo una investigación con 278 sujetos, desde alumnos de primer año de la secundaria, hasta estudiantes universitarios de psicología y de ciencias químicas, en la que analizan las respuestas a un cuestionario para discernir si los alumnos conciben la discontinuidad de la materia y la existencia de vacío entre las partículas. Resulta notable la proporción de los alumnos con respuestas incorrectas, sobre todo en el caso de los sólidos (ver también Gutiérrez-Julián, Gómez-Crespo y Pozo, 2002), donde se concibe en menor proporción la presencia de vacío entre las partículas. En el mejor de los grupos sólo 33% responde adecuadamente las preguntas sobre discontinuidad y vacío.

Finalmente, Gómez-Crespo, Pozo y Gutiérrez-Julián (2004) nos proponen una estrategia de instrucción para abordar el tema en la clase, basada en la comparación de los modelos macroscópico y microscópico, frente a las estrategias expositivas que se limitan a la descripción de las teorías científicas y a la realización de tareas de aplicación de esas teorías. Este artículo, por lo tanto, sí toca el tema del CPC requerido para explicar estos conceptos del modelo cinético-corpúscular.

Su estrategia consta de seis pasos, los indicados en el diagrama 7. Es de hacer notar que, sobre todo en el tercer paso, se pide explícitamente que los alumnos desarrollen los dos tipos de explicaciones, la macroscópica y la microscópica, animados por la contrastación y discusión entre los modelos en la mente de los estudiantes, como vía para lograr el cambio conceptual.

Los autores nos dan los primeros resultados de aplicar esta estrategia, basada en la contrastación y diferenciación entre los modelos macroscópico y microscópico, frente a otra más clásica, orientada a la exposición del modelo microscópico y la realización de ejercicios de aplicación. Los resultados muestran que ambos tipos de instrucción muestran progreso y aprendizaje de los alumnos. En los dos casos aumenta significativamente el número de respuestas correctas después de la instrucción. Sin embargo, encuentran que el método propuesto por ellos, produce resultados significativamente mejores en dos de los problemas estudiados: la noción de discontinuidad de la materia y los mecanismos implicados en los cambios. Terminan su artículo con la convicción de que la investigación acerca de los

Diagrama 7. Pasos en los que se divide la estrategia de Gómez-Crespo, Pozo y Gutiérrez-Julián (2004).

1. Introducción del modelo. Previamente, los alumnos han realizado actividades dirigidas a explicitar algunas de sus creencias intuitivas y habrán visto algunas de sus limitaciones explicativas. En este sentido, a la estrategia puede darse la categoría de "constructivista". Ocurre posteriormente la presentación por parte del profesor del modelo cinético-corpúscular, centrado en tres ideas fundamentales: Partículas que no se pueden ver, Movimiento continuo de esas partículas y Entre las partículas no hay nada (vacío).

2. Primeras aplicaciones del modelo. Se llevan a cabo dos actividades:

- ¿Qué diferencias existen entre los tres estados de la materia? y
- Interpretación de la difusión de un gas.

En estas primeras actividades aparecen más frecuentemente explicaciones macroscópicas y recurren generalmente a un agente externo (generalmente, el aire) como vehículo de transporte o causa del movimiento.

3. Generalización del contraste de modelos a otros fenómenos. El profesor plantea dos nuevas actividades y pide a los alumnos que elaboren por escrito los dos tipos de explicación (macroscópica y microscópica). Las dos actividades son: Compresión y expansión del aire en una jeringa y Disolución de una gota de tinta.

4. Introducción del efecto de la temperatura en el movimiento de las partículas. Aquí se lleva a cabo una quinta actividad que tiene que ver con la Dilatación del aire por la acción del calor, idéntica a la de la figura 4 de Martínez-Torregrosa.

5. Cambios de estado. Se plantea teóricamente la transición desde un cubo de hielo hasta la fase gaseosa, obtenida por calentamiento continuo.

6. Generalización a otros casos. Se analizan otros ejemplos teóricos, como los siguientes: Efecto del sol sobre un balón de fútbol, Funcionamiento de un termómetro, Evaporación del agua, Condensación del agua en una ventana, Sublimación de un ambientador casero, etcétera.

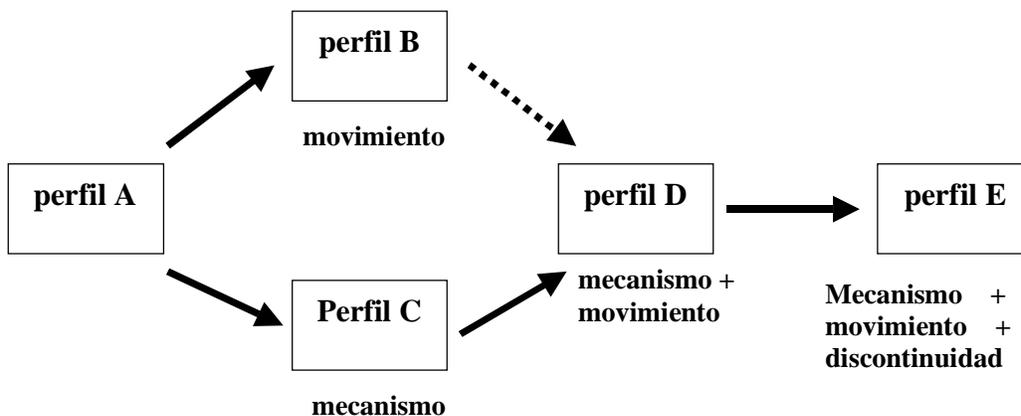


Figura 5. Esta ilustración se basa en un estudio estadístico de "cúmulos" llevado a cabo por los autores. Del perfil A, en el que los alumnos poseen una representación continua de la materia, hasta el perfil E donde han adquirido una representación científica completa del modelo cinético molecular, Gómez-Crespo *et al.* (2006) llegan a la conclusión que los alumnos que alcanzan este último perfil van atravesando primero por uno en el que sólo reconocen el mecanismo de interacción entre las partículas, después el movimiento molecular, y finalmente logran alcanzar el concepto de vacío y, por lo tanto, la discontinuidad. Por el perfil B solamente atraviesan los alumnos que escogieron una carrera no-científica y se quedan con esa idea del movimiento de las partículas, únicamente.

procesos psicológicos de cómo se aprende conduce a plantear mejores estrategias de enseñanza.

Estos autores siguen estudiando este tema, en particular y tienen como nuevos resultados (Gómez-Crespo, Pozo y Gutiérrez-Julián, 2006) el que parece haber dos caminos para lograr el cambio conceptual. Uno por el que transitan algunos alumnos que después de la enseñanza básica han escogido una carrera no-científica en el cual adquieren primero la noción acerca de la estructura de la materia y se quedan con ella sin poder acceder a las del movimiento de las partículas ni a la del vacío. El otro camino es el más exitoso y es el que siguen los alumnos que estudian en el bachillerato sus cursos de ciencias y los continúan después al nivel universitario, en el cual primero adquieren la noción del mecanismo de interacción, después la del movimiento y finalmente, la del vacío (ver un esquema sobre este punto en la figura 5).

Como una síntesis de esta sección de los proyectos curriculares renovadores y de abolengo, podemos decir que la investigación educativa sobre concepciones alternativas y estrategias didácticas para transformarlas hacia las concepciones científicas, ha contribuido con el desarrollo del CPC requerido por los profesores para encarar al grupo de estudiantes, desde el hallazgo de las concepciones alternativas de los alumnos, o la imaginación que promueven los lentes mágicos de Nussbaum hasta la comparación de los modelos macroscópico y microscópico de

Gómez-Crespo *et al.*, pasando por la riqueza de experimentos que nos muestran CLIS, MAM o Martínez-Torregrosa *et al.*

Pasamos, finalmente, a la documentación del CoRe del CPC de profesores mexicanos y su comparación con el de australianos Veremos que las secuencias de aprendizaje generadas por algunos de los cinco proyectos curriculares mencionados en esta sección están presentes en el conjunto de estrategias didácticas de los profesores entrevistados.

La estructura corpuscular de la materia. El CPC de algunos profesores mexicanos

Conscientes de la importancia que tiene para el proceso educativo de la química en nuestros países, los autores nos propusimos estudiar el CPC de la estructura corpuscular de la materia de nuestros propios profesores del bachillerato. Para esto nos planteamos la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las similitudes y diferencias entre el CPC de la estructura corpuscular de la materia de profesores de diferentes instituciones, que usan diferentes tipos de currículo?

La metodología usada para capturar y describir el CPC de profesores de química fue tomada de Loughran, Berry y Mulhall (2004), esto es, usando las herramientas CoRe (Content Representation) e inventarios, descritas en la sección acerca de «¿Cómo capturar y describir el CPC de los profesores?».

Este estudio formó parte de otro más extenso

realizado con profesoras argentinas (una síntesis del cual posiblemente salga publicada en Garritz, Porro, Rembado y Trinidad, 2005, o una versión extendida en 2006, o ambas).

Los profesores seleccionados para el estudio pertenecen a los dos siguientes sistemas:

1. La Escuela Nacional Preparatoria y el Colegio de Ciencias y Humanidades, de la Universidad Nacional Autónoma de México, que trabajan con un currículo de química tipo Ciencia-Tecnología-Sociedad.
2. El Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal que trabaja con un enfoque constructivista.

Descripción de los entrevistados.

Datos de sus instituciones y su currículum

Del primer sistema se seleccionaron cinco profesoras, todas ellas estudiando una maestría en educación química. Nos referiremos a ellas como las estudiantes de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS). Estas profesoras fueron seleccionadas sobre la base de tener el CD más alto en el examen de ingreso a la maestría. Su experiencia docente en química va de 2 a 12 años.

Del segundo grupo, al cual nos referiremos como los profesores del IEMS, se eligieron a cinco profesores reconocidos por sus colegas como personas que trabajan con una clara visión constructivista y que cuentan con una experiencia de 12 a 18 años en la enseñanza de la química.

Las profesoras de la MADEMS dan sus cursos ya sea en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP, 2005), dos de ellas, o en el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH, 2005), las otras tres. Se trata de dos subsistemas que ofrecen educación de bachillerato en la Universidad Nacional Autónoma de México, a alrededor de 100,000 estudiantes actualmente.

En el último, el CCH, se dan dos cursos semestrales obligatorios de química en el primero y segundo semestres del bachillerato, de cinco horas de duración y de naturaleza teórico-práctica en unas aulas-laboratorio con alrededor de 25 alumnos (30, como máximo). Existen otros dos cursos de química que son optativos. Su programa de estudios tiene un claro enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad, con cinco unidades que desarrollan los temas de la tabla 3. Su última revisión programática se dio en el año 2003.

Por su parte, la Escuela Nacional Preparatoria ofrece, desde 1996, dos cursos anuales obligatorios

de química en el primero y segundo años del bachillerato, con dos horas de teoría y una hora de laboratorio, y con una estructura curricular también del tipo CTS, pero con diferentes contenidos al programa del CCH (ver la tabla 4). Los grupos de la ENP son más poblados que los del CCH, ya que aquí se cuenta con unos 60 estudiantes por cada grupo. En el currículo se revela la naturaleza CTS del enfoque cuando se dice que la química “constituye una materia básica que contribuye tanto a la formación integral del estudiante como a la adquisición de una cultura científica que le ayude a tomar decisiones razonadas en las que evalúe los riesgos y beneficios de la ciencia y la tecnología en la vida cotidiana y en su entorno”.

En el IEMS (2005) se ofrecen desde el año 2001 dos cursos obligatorios de química en los semestres 3 y 4 del bachillerato, el primero de tres horas a la semana de teoría, una hora de laboratorio y el segundo de dos horas a la semana de teoría y dos horas de laboratorio. En ellos se precian de aplicar una perspectiva constructivista del aprendizaje. No existen suficientes estrategias pedagógicas documentadas; sin embargo, pensamos que se aplica en el Instituto una similar a la de Driver y Scott (1996), que Duit (1999) llama «secuencia constructivista de enseñanza» y que fue desarrollada para diversos temas dentro del programa *Children Learning in Science*, (CLIS, 1987). En general, la secuencia de enseñanza comienza con explicitar las ideas de los estudiantes sobre el tema que se va a tratar, después se desarrollan algunas actividades que ayudan a los estudiantes a reestructurar sus ideas y finalmente, se provee a los estudiantes de oportunidades para que revisen y consideren cualquier cambio que resulte en sus concepciones.

Tabla 3. Temas de las cinco unidades del programa de estudios de la Química I y II semestrales del Colegio de Ciencias y Humanidades.

Química I

Primera Unidad. Agua, compuesto indispensable.
Segunda Unidad. Oxígeno, componente activo del aire.

Química II

Primera Unidad. Suelo, fuente de nutrimentos para las plantas.
Segunda Unidad. Alimentos, proveedores de sustancias esenciales para la vida.
Tercera Unidad. Medicamentos, productos químicos para la salud.

En el programa se indica: “Se considera importante contemplar en los objetivos de los cursos de Química los contextos histórico, social y filosófico en los cuales se desarrollan las teorías científicas, así como reconocer las aportaciones y limitaciones de cada una de ellas”. También en otra parte dice: “En la actualidad la química es una ciencia presente en nuestra vida cotidiana, por todos los productos que proporciona, de tal forma que se pueden manejar dos vertientes de la Química: por una parte, los conocimientos teóricos y, por otra, las aplicaciones tecnológicas cuyas bases teóricas no necesariamente se conocen a la perfección”. Por lo anterior, podemos decir que este sistema de bachillerato trabaja con una combinación de énfasis curriculares “Química, Tecnología y Sociedad” (QTS) y “Desarrollo del conocimiento en Química” (DCQ), (van Driel, Bulte and Verloop, 2005). En la tabla 5 se incluyen los objetivos de los contenidos del programa del IEMS.

En breve, hemos escogido dos instituciones educativas que hacen énfasis en un propósito curricular diferente: en la MADEMS, el enfoque CTS, y en el IEMS, la combinación QTS-DCQ con una perspectiva constructivista. Podremos comparar entonces las Representaciones del Contenido de los dos conjuntos de profesores y analizar si la estructura curricular tiene alguna influencia en el Conocimiento Pedagógico del Contenido de cada grupo.

Para ello, a todos estos profesores se les plantearon de manera individual cuestionarios y entrevistas que incluían las ocho preguntas del CoRe (Loughran, Berry y Mulhall, 2004). A continuación se realizaron sesiones con cada uno de los dos grupos para analizar los CoRes individuales y obtener CoRes grupales. La información obtenida con estas herramientas nos permitió realizar un análisis para la obtención de nuestros resultados.

Comparación de las ideas centrales expuestas por los dos grupos de profesores mexicanos y uno previamente reportado de profesores australianos en sus Representaciones de Contenido de consenso

Las ideas centrales de los dos grupos de profesores mexicanos han sido reunidas por afinidad en la tabla 5, donde las de los profesores australianos entrevistados por Loughran *et al.* (2001b) han sido incluidas también. Es importante expresar aquí el perfil de los profesores australianos, que fueron “profesores del bachillerato que estaban enseñando Ciencia General en los grados 7 a 10 y daban clase igualmente en el nivel «senior» de ciencia en los

Tabla 4. Temas de las seis unidades del programa anual de estudios de la Química I y II de la Escuela Nacional Preparatoria.

Química I

Primera Unidad: La química y tú.

Segunda Unidad: Manifestaciones de la materia.

Tercera Unidad: La naturaleza discontinua de la materia

Química II

Primera Unidad: Agua, disoluciones y reacciones químicas.

Segunda Unidad: Quema de combustibles. Oxidaciones.

Tercera Unidad: Electroquímica.

grados 11 y 12, los últimos dos años de bachillerato en Australia, con especialización en biología, química o física”.

Se han reunido las cinco ideas centrales que tienen que ver con partículas en los primeros cinco renglones. Los tres conjuntos de profesores participantes en este estudio comparten la idea central de

Tabla 5. Objetivos presentes en los dos cursos de química del programa del IEMS. El alumno:

QUÍMICA I

1. Valorará a la Química como una rama de la ciencia que ha permitido conocer y transformar el mundo que lo rodea.
2. Reconocerá y determinará que las propiedades de la materia permiten identificarla.
3. Valorará la importancia de los modelos en química y en particular del modelo cinético molecular para explicar los estados de agregación de la materia y, en forma particular, el estado gaseoso.
4. Analizará a las mezclas como la manifestación más común de la materia y su separación en sustancias puras.
5. Reconocerá en la teoría atómica de Dalton una herramienta para representar elementos y compuestos, comprendiendo los cambios químicos como un reacomodo de los átomos.
6. Valorará la necesidad de un lenguaje específico en la química.

QUÍMICA II

1. Identificará los modelos estructurales de la materia que contribuyeron con el desarrollo de la teoría atómica.
2. Reconocerá la importancia de la ley periódica de los elementos con base en el concepto moderno del átomo.
3. Identificará a los electrones externos de los átomos como los responsables de la formación de enlaces entre ellos y su caracterización mediante la diferencia de electronegatividades.
4. Reconocerá la formación de iones a través de diferentes procesos para interpretar las propiedades de las disoluciones.
5. Valorará la existencia de sustancias ácidas y básicas, las reacciones entre ellas y su importancia en la vida cotidiana.
6. Analizará las reacciones de óxido-reducción, identificando sus aplicaciones en la vida diaria.
7. Caracterizará los compuestos covalentes representativos del carbono para reconocer la diversidad de propiedades de estas especies químicas.

la discontinuidad de la materia (o la existencia de partículas o del espacio vacío entre ellas, así como de su movimiento, ver la tabla 6). Con relación a estas cinco primeras ideas centrales, dos de ellas corresponden únicamente a los profesores australianos y tienen que ver con propiedades de las partículas constituyentes de diferentes muestras de materia y con su combinación, cuestiones que no llamaron la atención de los profesores mexicanos.

Las otras tres ideas centrales (de la 6 a la 8) se han agrupado por tener que ver con las explicaciones microscópicas a las propiedades de bulto de las sustancias y resultan ser comunes únicamente a

los dos grupos de profesores mexicanos. Se nota en estos dos grupos la importancia de exponer esta relación macro-micro para explicar las propiedades, es decir, la trascendencia de la aplicabilidad del modelo cinético molecular.

Estas tres ideas centrales tienen que ver con las otras tres siguientes que se han agrupado (la 9 a 11 y que corresponden únicamente a las profesoras de la MADEMS). La primera del enlace químico es sin duda un tema de gran importancia, pero que hay que desarrollar en clase semanas después de abordar las primicias acerca de la naturaleza discontinua de la materia. Hay que mencionar que las dos últimas

Tabla 6. Conjuntos de ideas centrales de los profesores de ciencias de los dos sistemas de bachillerato mexicano y de los profesores australianos (Loughran *et al.*, 2001b), reunidas por sus similitudes.

	MADEMS	IEMS	Profesores australianos
1	La materia está conformada de pequeñas partículas.	La materia está hecha de partículas.	La materia está hecha de porciones muy pequeñas, llamadas partículas.
2	El espacio entre las partículas está vacío.	Discontinuidad.	Hay espacio vacío entre las partículas.
3	Las partículas están en constante movimiento azaroso.	Las partículas tienen movimiento.	Las partículas se están moviendo (su velocidad cambia con la temperatura) y aparecen en ciertos arreglos.
4			Las partículas de diferentes sustancias son diferentes unas de otras.
5			Existen diferentes clases de partículas que, cuando se unen, son diferentes otra vez. Hay diferentes porciones pequeñas.
6	Aplicaciones de la estructura de la materia en sólidos, líquidos y gases; sus cambios de estado, sus cambios energéticos, la presión de vapor, la tensión superficial, la temperatura, etc.	Relación macro-micro.	
7		Los estados de la materia.	
8		Existe una relación entre la presión, el volumen y la temperatura.	
9	Las partículas se encuentran unidas entre sí a través de enlaces.		
10	Las propiedades que se observan en las sustancias son resultado de la interacción de las partículas y no propiedades de cada partícula individual.		
11	Las dimensiones de las partículas son constantes, independientemente del estado de agregación.		
12		Los modelos en química son muy importantes.	El concepto de modelo es útil para explicar las cosas que observamos.
13		Existe una evolución en los modelos y teorías científicos.	
14	Conservación de la materia.		Hay conservación de la materia. Las partículas ni desaparecen ni son creadas, más bien cambia su arreglo.

ideas de este grupo se refieren no a temas centrales del contenido, sino más bien a aspectos que hay que cuidar al momento de la enseñanza del tema de la estructura de la materia, por estar ahí contempladas las concepciones alternativas más frecuentes de una visión sustancialista de la materia, que fue mencionada como tal por Martín del Pozo (1998): “que explica las propiedades de las sustancias en función de una traslación de esas mismas propiedades al nivel microscópico, de manera que el cambio químico resulta ser consecuencia del cambio de forma, tamaño o movimiento de los átomos”. Quizá fuera explicable que los profesores de la MADEMS consideraran importantes estas dos ideas centrales por acabar de cursar la “Didáctica de la Química”, curso en el cual se abordó el tema de las concepciones alternativas de los estudiantes como uno de importancia para el desarrollo del CPC.

Las siguientes dos ideas centrales agrupadas (la 12 y la 13) tienen que ver con aspectos de modelación en ciencia y fueron mencionados por los profesores del IEMS y por los australianos. Sin duda éste resulta un buen momento para hacer énfasis en esta característica de la ciencia de trabajar con modelos. Dejarlo pasar es inapropiado para un curso en el que la indagación científica sea una idea central, cuestión que, por lo visto, sólo es importante para los profesores del IEMS entre los mexicanos. Parece deberse este hecho a la importancia que ha adquirido entre las corrientes constructivistas la “Naturaleza de la ciencia” como contenido explícito a incluir en la enseñanza de las ciencias.

Finalmente, la idea central 14 relativa a la conservación de la materia es compartida por las profesoras de la MADEMS y por los australianos.

Posteriormente, una vez que los profesores de cada uno de los dos grupos mexicanos contestaron colectivamente al cuestionario de ocho preguntas del CoRe, se hicieron conocer a cada uno de los grupos de profesores las ideas centrales expuestas por el otro, para ver si revaloraban sus ideas y cambiaban de opinión. Así, intercambiando información entre los autores de este estudio, los profesores participantes adoptaron por consenso las siete ideas centrales mostradas en la tabla 7 para la enseñanza de la estructura de la materia. Ya no nos abocamos a desarrollar las ocho preguntas del CoRe de la tabla 4 para cada una de las ideas centrales de la tabla 7, por el exceso de trabajo al que habían sido sometidos los profesores involucrados en este estudio.

Comparación de las siete ideas centrales de consenso entre los profesores mexicanos y las ideas centrales expuestas por los profesores australianos

La tabla 6 marca la notable diferencia existente entre las ideas centrales de los tres grupos de profesores analizados. No obstante, tomando como base la versión consensual de los profesores mexicanos de la tabla 7, nos damos cuenta que se encuentran amplias coincidencias entre estas ideas centrales y las de los profesores australianos, pues cinco de las siete ideas centrales I, II, III, VI y VII coinciden (con las ideas centrales 1, 2, 3, 12 y 14, de la última columna de la tabla 6), aunque las ideas centrales de las casillas 4 y 5 de los profesores australianos no se encuentran entre las de los profesores mexicanos. Los autores de este trabajo pensamos que por lo menos la idea 4 resulta crucial para el desarrollo ulterior del curso de química, pues llegar pronto a la conclusión de que “las partículas de diferentes sustancias son diferentes unas de las otras” implica haber alcanzado una clara apreciación microscópica del concepto de sustancia.

Comparación de los CoRes mexicanos

Agrupamos por tópicos las ideas de las dos propuestas mexicanas que están relacionadas y discutimos a continuación los puntos más destacados relativos a ellas. Ponemos en negritas el tópico desarrollado en el análisis.

La idea central detrás de lo que **se intenta con los estudiantes y por qué esto resulta importante** es que apliquen el modelo corpuscular al entendimiento de las propiedades de la materia:

Las profesoras de la MADEMS nos indican que lo que se intenta con los estudiantes es:

Tabla 7. Siete ideas centrales obtenidas por el consenso ulterior de los profesores de los dos sistemas de bachillerato mexicano.

I. La materia está conformada por pequeñas partículas.
II. El espacio entre las partículas está vacío.
III. Las partículas están en movimiento aleatorio y su velocidad cambia con la temperatura.
IV. Las partículas interactúan unas con otras por medio de enlaces de naturaleza electrostática.
V. Existe relación entre la estructura de la materia y sus propiedades físicas y químicas
VI. Existe conservación de la materia en los procesos donde participa. Las partículas no desaparecen ni se crean, sólo cambian sus ordenamientos
VII. Los modelos en química son muy importantes, a pesar de su validez limitada.

- a) Que aprendan que existe una interacción dinámica entre las partículas. Que los estudiantes hablen de choques. Que las partículas se encuentran en movimiento constante, independientemente del estado de agregación.
- b) La existencia del vacío; la discontinuidad de la materia.

Y ¿por qué es importante que los estudiantes sepan esto?

- a) Es importante que puedan diferenciar que existen dos niveles: uno macroscópico en el que se advierte la existencia de objetos que parecen un continuo, y otro, el submicroscópico, donde existe la discontinuidad. Es un mundo tan pequeño que no nos percatamos de ello.
- b) Para que conozcan este modelo explicativo de las propiedades de las sustancias (cambios de estado, disolución, difusión, presión, energía interna, equilibrio químico, etc.), para qué sirve y hasta dónde nos alcanza. Porque así podrán entender que el mundo “microscópico” es dinámico y no estático.

Por su parte, los profesores del IEMS marcan que lo que se intenta con los estudiantes es que adviertan:

- a) Que toda la materia está formada por unidades elementales, llamadas partículas.
- b) La pregunta de qué es ser discontinuo.
- c) La división entre continuo y discontinuo.
- d) Que la materia no es continua y entre las partículas se encuentran espacios vacíos.

Y ¿por qué es importante que los estudiantes sepan esto?

- a) Porque sólo nos acercamos al mundo desde un punto de vista macroscópico y hay otras formas (como la microscópica) de verlo, con las cuales pueden explicarse diferentes comportamientos de la materia. La discontinuidad es un aspecto fundamental en la concepción de la estructura de la materia.
- b) Porque el movimiento es muy importante en la explicación del comportamiento de los gases; su presión y temperatura están determinadas por el movimiento, así como la explicación de otros fenómenos de la naturaleza.

En el cuerpo del CoRe, si bien no en sus ideas centrales, los profesores mexicanos se refieren a la utilización de **modelos** en la enseñanza, aunque hay

que ser claros que quienes más atinadamente se refieren al tema son los profesores del IEMS, seguramente por la naturaleza constructivista de su currículum, con énfasis en la “indagación científica”.

Nos dicen, por ejemplo, las profesoras de la MADEMS:

Que la materia es discontinua, que está formada por partículas, lo cual es un modelo que permite explicar distintos fenómenos, por su alcance predictivo y explicativo. Los estudiantes han de transitar de la visión continua de la materia a una visión discontinua.

Los del IEMS, por su parte, expresan de manera clara:

- a) Que los modelos son una forma de representar un conjunto de evidencias experimentales.
- b) Que cada modelo tiene sus aportaciones pero también sus limitaciones.
- c) Cómo expresar lo que se observa para que otros lo entiendan.
- d) Les debe quedar claro a los estudiantes que un modelo es una representación de su entorno y que todo el tiempo estamos trabajando con ellos. Deben acoplar su percepción a los modelos.

Es común la propuesta de emplear el tema de “modelos” para desarrollar una **actividad del tipo de “caja negra”**.

Las profesoras de la MADEMS nos dicen en sus procedimientos de enseñanza:

Plantear una actividad que simule la construcción de modelos, como la de la “caja negra”. Esta actividad hace énfasis en la necesidad de construir un modelo que permita describir y explicar los fenómenos que se observan, dadas las limitaciones para palpar y ver directamente la constitución de la materia.

Los profesores del IEMS colocan la siguiente frase en sus formas específicas de evaluación:

Construcción de una “caja negra” en cuyo interior se colocan diferentes materiales y en función de la información que nos proporcionen nuestros sentidos (olores, texturas, tamaños, sonidos, etc.) se realiza una aproximación hacia lo que no podemos ver. Este ejercicio va acompañado de una serie de preguntas que sirven como guía para acercarse a la respuesta.

Los profesores se percatan de toda una serie de

concepciones alternativas de sus estudiantes y las señalan como limitaciones para la enseñanza.

Las profesoras de la MADEMS, que acaban de estudiar estos temas en la Maestría, nos muestran un conocimiento extenso sobre este punto:

- La mayor dificultad es que hay que hablar, imaginar y comprender lo que no se ve. Cuando el estudiante observa el mundo que le rodea, percibe un continuo en él, por lo que le resulta difícil aceptar la existencia de partículas discretas en constante movimiento. El tamaño de las partículas le hace dudar de su existencia.
- Los estudios de investigación sobre concepciones alternativas muestran que los estudiantes tienen gran dificultad de entender la naturaleza corpuscular de la materia.
- El modelo cinético-molecular implica un vocabulario distinto con significados muy específicos. El lenguaje científico es abstracto.
- El horror aristotélico al vacío es una realidad en la mente de los alumnos. Los alumnos no pueden entender que si todas las cosas están formadas por átomos y estos átomos en su mayor parte son espacio vacío, ¿cómo es posible que un alpinista pueda ir escalando en las rocas (hechas de átomos) e ir afianzando bien sus instrumentos?
- En los gases, porque no los ven, no les atribuyen la presencia de partículas.
- Los alumnos piensan que propiedades como el color, olor, magnetismo, dureza, reactividad, etc., son atribuibles a los átomos aislados de una sustancia (los átomos de plomo son grises y son sólidos, los de hidrógeno son inflamables y gaseosos, los de neón fluorescentes, etc.).

Por su parte, los profesores del IEMS nos indican alrededor de este punto:

- Que en el mundo cotidiano la gran mayoría de materiales a simple vista se ven completamente compactos (líquidos y sólidos). Los gases no los ven, “por lo tanto no son materia”.
- En pocas ocasiones los estudiantes tienen la oportunidad de reflexionar sobre la concepción del vacío.
- Los estudiantes perciben a la materia como estática. Piensan que no se puede observar el movimiento de las partículas.
- Los alumnos no conciben el vacío.

Con relación a las **estrategias didácticas** que hay que emplear para convencer a los estudiantes

acerca de la naturaleza corpuscular de la materia, hay muy diversos acercamientos:

Las profesoras de la MADEMS nos indican algunas de las estrategias mencionadas en la sección de los proyectos renovadores de este estudio:

- Realización de experimentos breves y demostraciones de cátedra que sugieran la presencia de partículas (tales como los del proyecto *Children's Learning In Science*, CLIS, 1987).
- Fomentar el uso de la imaginación. Emplear para ello los “lentes mágicos” que sirvan para “ver” el detalle microscópico (ver como ejemplos de la introducción de este artilugio, por ejemplo, la cita de Nussbaum o la de MAM).
- Que tomen un papel y lo corten en pedacitos muy pequeños, lo más que puedan. Preguntar ¿y si seguimos cortando 1,000 veces más uno de ellos, existe un límite?
- Si se trata de hacer comprender el tamaño de las moléculas, conviene explorar la magnitud del número de Avogadro con algunos ejemplos.

Los maestros del IEMS nos proponen como alternativas:

- Manejar con los alumnos toda una serie de actividades sobre el concepto de modelo.
- Lecturas que incluyan la concepción filosófica de la idea de partícula indivisible y los trabajos de físicos sobre la teoría cinética.
- Resaltar a través del microscopio las gotas de grasa en leche o en crema y poder ver el movimiento de algo que aparentemente está estático.
- Actividades experimentales con gases, de difusión, de solubilidad; por ejemplo la penetración de un colorante a través del hielo o el desinflado de un globo que contiene hidrógeno.
- Experimentos de difusión, como el de un perfume en el interior del salón de clases o el de la tinta en un vaso con agua, lo que les permite captar la idea de que las partículas se mueven, aunque de diferente manera según el estado de la materia.
- Actividades experimentales como la de la jeringa conteniendo aire o agua a la cual se le aplica diferentes presiones y se observa (o no) el cambio de volumen.
- El calentamiento de un matraz, el cual en la boca tiene unido un globo y la observación de que el globo se infla.

Finalmente, con relación a la forma de **evaluar el aprendizaje** se dan también toda una serie de propuestas.

Por ejemplo, las profesoras de la MADEMS proponen:

- Pedir a los alumnos que realicen actividades experimentales similares a las presentadas durante el desarrollo del tema.
- Pedirles que hagan dibujos y carteles, y que emitan su opinión respecto a las explicaciones y esquemas de otros.
- Emplear cuestionarios con preguntas abiertas o cerradas, con esquemas o dibujos.
- Pedir a los alumnos que expresen cómo le explicarían a otra persona lo que aprendieron ese día.
- Es conveniente dedicar un poco de tiempo a analizar los límites confusos entre sólidos granulados y polvorientos, y los líquidos. Acciones como cambiar de recipientes a líquidos y sólidos en polvo, comparar aspectos diferentes y comunes, observar detenidamente con una lupa los pequeños cristallitos de polvo, talco, sal o azúcar y llegar a la conclusión de que en los líquidos esas partículas no se pueden ver, aunque tienen un comportamiento similar, puede ayudar a interpretar la existencia de partículas pequeñísimas en los líquidos.

Por último, los profesores del IEMS nos dicen:

- Planteamiento de un problema práctico y que el estudiante lo resuelva con un sustento teórico, matemático, y que lo desmenuce para encontrar la relación de los diferentes aspectos aprendidos.
- Mapas conceptuales.
- Preguntas de opción múltiple.
- Instrumentos que incluyan tanto aspectos teórico-conceptuales como experimentales. Por ejemplo, una actividad experimental en donde se analicen una serie de factores para contrastar la condensación con la evaporación.
- Cuestionario con diferentes situaciones ordinarias como por ejemplo, ¿por qué explota un tanque de gas cuando se calienta demasiado?, ¿qué sucede con el volumen de un globo inflado si lo calentamos?

Hemos encontrado una gran variedad de puntos de vista o formas de abordar el tema de la estructura corpuscular de la materia en los dos grupos de profesores mexicanos, aunque podríamos decir que los enfoques podrían ser complementarios. Como Loughran, Mulhall and Berry (2004) comentan, “un CoRe derivado de un grupo de profesores de ciencias no debe verse como estático o como la úni-

ca/mejor/correcta representación de ese contenido. Es una generalización necesaria pero incompleta que resulta del trabajo de un grupo particular de profesores en un momento en particular”.

En este estudio hemos elaborado dos inventarios de los profesores entrevistados, los cuales podemos repartir a los lectores interesados que nos los soliciten:

- “Elaborando un modelo” (La experiencia de la caja negra).
- “Otras formas de ver el mundo” (Trabajos prácticos para tratar de convencer a los alumnos sobre la estructura corpuscular).

Otros inventarios hechos por los autores australianos sobre el mismo tema y los del concepto de “reacción química” pueden consultarse en los trabajos de Mulhall, Berry, y Loughran, (2003); Loughran, Berry, Mulhall y Gunstone (2002); Loughran, Mulhall y Berry (2002).

Conclusiones

Uno de los aspectos requeridos para mejorar el proceso educativo de la ciencia en nuestros países es contar con el conocimiento básico de nuestros profesores. Una de las partes más importantes de este conocimiento se refiere al Conocimiento Pedagógico de la Química, particularmente el conocimiento pedagógico de tópicos específicos, el cual se desarrolla a través de la experiencia en el aula, por lo que nuestros profesores más experimentados podrían aportar una gran diversidad de elementos al respecto. Así, hacen falta más estudios sobre el Conocimiento Pedagógico de tópicos tales como: ingeniería y tecnología química, cambios físicos y químicos, modelos atómicos, tabla periódica, enlace químico, ácidos y bases, óxido-reducción, cinética química y bioquímica, entre tantos otros.

Esperamos que el lector que nos haya seguido se haya llevado una buena idea acerca de la trascendencia del concepto «Conocimiento pedagógico del contenido», de su importancia en el proceso de formación de profesores y de su trascendencia para poder reunir, a través de ejemplos, las mejores muestras de los esfuerzos de profesores notables por hacer comprensibles a los alumnos los temas de la clase de química, en particular. El análisis ha incluido cinco proyectos renovadores con claras aportaciones al CPC, que luego se han reflejado en las representaciones del contenido en los diez profesores entrevistados en el bachillerato mexicano.

La documentación del CPC puede ser útil en el proceso de formación de profesores ya que, 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 es útil 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 y acerca al profesor novato un poco más a la experiencia escolar, reduciendo la distancia entre teoría y práctica. ▀

Referencias bibliográficas

- Barnett, J. y Hodson, D. Pedagogical Context Knowledge: Toward a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know, *Science Education*, **85**:426-453, 2001.
- Baxter, J.A. y Lederman, N.G. Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. In Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 147-162, 1999.
- Bond-Robinson, J. Identifying pedagogical content knowledge (PCK) in the chemistry laboratory, *Chemistry Education Research and Practice*, **6**(2), 83-103, 2005.
- Bucat, R. Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, **5**(3), 215-228, 2004.
- Carlsen, W. Domains of teacher knowledge. En Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Dordrecht: Kluwer. pp. 133-146, 1999.
- CCH (2005) Colegio de Ciencias y Humanidades, cuya descripción general puede consultarse en su URL: <http://www.cch.unam.mx/>. El currículo de este sistema en la URL: <http://www.cch.unam.mx/plandeestudios/index.php>; programas de química: <http://www.cch.unam.mx/plandeestudios/asignaturas/quimica/quimicaiiyii.pdf>, correspondientes a la última modificación de junio de 2003. Esas páginas fueron consultadas el 2 de febrero de 2005.
- Chevallard, Y. *La transposición didáctica*, Argentina, AIQUE, 196 pp., 1991.
- Clermont, C. P., Krajcik, J. S., Borko, H. The influence of an intensive in-service workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**(1), 21-44, 1993.
- Clermont, C. P., Borko, H., Krajcik, J. S. Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators, *Journal of Research in Science Teaching*, **31**(4), 419-441, 1994.
- CLIS. (Grupo coordinado por T. Wightman, K. Johnston y P. Scott) *Children's learning in science project in the classroom. Approaches to teaching the particulate theory of matter*, Centre for Studies in Science and Mathematics Education: University of Leeds, 1987.
- Cochran, K. F., DeRuiter, J. A. y King, R. A. Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation, *Journal of Teacher Education*, **44**, 263-272, 1993.
- Dawkins, K. y Butler, S. Analyzing preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge regarding mole concept, *Proceedings of the annual meeting of the Association for Teacher Education in Europe*, Stockholm, 8 pp., 2001. Versión electrónica consultada el 2 de febrero de 2006, en la URL <http://www.ecu.edu/cs-educ/csmtc/Research.cfm>
- De Jong, O., Korthagen, F. y Wubbels, T. Research on Science Teacher Education in Europe: Teacher Thinking and Conceptual Change, en Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Printed in Great Britain, pp.745-758, 1998.
- De Jong, O., Ahtee, M., Goodwin, A., Hatzinikita, V. y Koulaidis, V. An International Study of Prospective Teachers' Initial Teaching Conceptions and Concerns: the case of teaching "combustion", *European Journal of Teacher Education*, **22**(1) 45-60, 1999.
- De Jong, O., Veal, W. R. y Van Driel, J. H. Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base, en J. K. Gilbert y otros (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 369-390, 2002.
- De Jong, O. y Van Driel, J. H. Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, **2**, 477-491, 2004.
- Driver, R y Scott, P. H. Curriculum development as research: a constructivist approach to science curriculum development and teaching. En D.Treagust, R. Duit y B. Fraser (editores), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. Nueva York: Teachers College Press. pp. 94-108, 1996.
- Duit, R. Conceptual change approaches in science education. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (Eds.), *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Pergamon. pp. 263-283, 1999.
- Enfield, M. Content and Pedagogy: Intersection in the NSTA Standards for Science Teacher Education, 1999. Consultada por última vez el 20 de diciembre de 2004 en la URL <http://www.msu.edu/~dugganha/PCK.htm>
- ENP (2005), Escuela Nacional Preparatoria, sus objetivos pueden ser consultados en la URL: <http://dgenp.unam.mx/nuestraprepa/paginas/mision.html> y sus programas de química, actualizados en 1996, en la URL: <http://dgenp.unam.mx/planes/planes.htm>; páginas que fueron consultadas por última vez el 11 de junio de 2005.
- Furió, C. Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**(2), 188-199, 1994.
- Furió, C. El pensamiento espontáneo docente sobre la ciencia y su enseñanza, *Educación Química*, **6**(2), 112-116, 1995.
- Garritz, A. y Tinidad-Velasco, R. El conocimiento pedagógico del contenido, *Educación Química*, **15**(2), 98-102, 2004.
- Garritz, A. y Tinidad-Velasco, R. La naturaleza corpuscular de materia y su conocimiento pedagógico. En *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia*, Juan Ignacio Pozo y Fernando Flores (coords.), Madrid: UNESCO/Universidad Autónoma de Madrid, 2006 (en prensa).
- Garritz, A., Porro, S., Rembado, F. M. y Trinidad, R. Latin-American teachers' pedagogical content knowledge of the particulate nature of matter. Submitted to the proceedings of the Congress of the European Science Education Research Association (ESERA), 2005. Symposium on *Understanding science teachers' PCK in the context of curriculum reform*, de Jong, O. (coord.).

- Garritz, A., Porro, S., Rembado, F. M. y Trinidad, R. Pedagogical knowledge of the particulate nature of matter and its relationship with the professional and curricular experiences of teachers. Sometido a *Chemistry Education Research and Practice*, 2006.
- Geddis, A. N., Onslow, B., Beynon, C. y Oesch, J. Transforming Content Knowledge: Learning to Teach about Isotopes, *Science Education* 77(6), 575-591, 1993.
- Geddis, A. N. Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching, *International Journal of Science Education*, 15(6), 673-683, 1993.
- Gentner, D. y Stevens A. L. *Mental models*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983.
- Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, xii + 306 pp, 1999.
- Gil-Pérez, D. ¿Qué hemos de saber y de saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77, 1991.
- Gómez-Crespo, M. A. y Pozo, J. I. Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. En M. Rodríguez Moneo (compiladora), *Cambio conceptual y educación, Revista Tarbiya*, 26, 117-139, 2000.
- Gómez-Crespo, M. A., Pozo, J. I. y Gutiérrez-Julián, M. S. Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos, *Educación Química*, 15(3), 198-209, 2004.
- Gómez-Crespo, M. A., Pozo, J. I. y Gutiérrez-Julián, M. S. La organización de las representaciones sobre la materia. En *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia*, Juan Ignacio Pozo y Fernando Flores (coords.), Madrid: UNECO/Universidad Autónoma de Madrid, 2006 (en prensa).
- Grossman, P. L. *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*, New York, Teacher College Press, 1990.
- Gutiérrez-Julián, M.S., Gómez Crespo, M. A. y Pozo, J. I. Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las propiedades de la materia, *Investigações em Ensino de Ciências* 7(3), 2002. Consultado el 19 de diciembre de 2004 en la URL <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/>
- Hewson, P.W. y Beeth, M.E. Enseñanza para un cambio conceptual: Ejemplos de fuerza y movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 25-35, 1995.
- Hierrezuelo, J., y Montero, A. *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*. Barcelona: Editorial Laia/Ministerio de Educación y Ciencia. Capítulo 9. Naturaleza de la materia. pp. 215-232, 1988.
- Hofstein, A., Carmeli, M. y Ben-Zvi, R. The Development of Leadership among Chemistry Teachers in Israel, *International Journal of Science and Mathematics Education* 1, 39-65, 2003.
- Hofstein, A., Carmeli, M. y Shore, R. The Professional development of High School Chemistry Coordinators, *Journal of Science Teacher Education*, 15(1), 3-24, 2004.
- Hofstein, A. The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research, *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 247-264, 2004.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. N. The laboratory in science education: Foundation for the 21st century. *Science Education*, 88, 28-54 2004.
- IEMS (2005), Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal. Los propósitos del Instituto pueden consultarse en su página <http://www.iems.df.gob.mx/>. Su currículo puede visualizarse en la URL <http://www.iems.df.gob.mx/modelo/pestudios.html>; páginas que fueron consultadas por última vez el 11 de junio de 2005.
- Kagan, D. M. Ways of Evaluating Teacher Cognition: Inferences Concerning the Goldilocks Principle, *Review of Educational Research*, 60(3), 419-469, 1990.
- Koballa, T., Gräber, W., Coleman, D. C. y Kemp, A. C. Prospective *gymnasium* teachers conceptions of chemistry learning and teaching, *International Journal of Science Education*, 22, 209-224, 2000.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D. y Blakeslee, T. D. Changing Middle School Student's Conception of Matter and Molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270, 1993.
- Llorens-Molina, J. A. La concepción molecular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48, 1988.
- Loughran, J., Berry, A., Mulhall, P. y Gunstone, R. *Attempting to capture and portray science teachers' pedagogical content knowledge: Particle Theory*. Melbourne: Faculty of Education, Monash University, Australia, 2002.
- Loughran, J., Milroy, P., Gunstone, R., Berry, A. y Mulhall, P. Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31, 289-307, 2001a.
- Loughran, J., Berry, A., Mulhall, P. y Gunstone, R. F. Attempting to capture and portray science teachers' pedagogical content knowledge: Particle theory. Melbourne: Monash University, 2001b.
- Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. *Attempting to capture and portray science teachers' pedagogical content knowledge: Chemical Reactions*. Melbourne: Faculty of Education, Monash University, Australia, 2002.
- Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391, 2004.
- MAM, (Grupo coordinado por Gleen D. Berkheimer, Charles W. Anderson y Theron D. Blakeslee, con la asistencia de Okhee Lee, David Eichinger y Karen Sands) *Matter and Molecules*, Teacher's and Student's Science Book and Activity Book, The Institute for Research on Teaching, College of Education, University of Michigan State, 1988. Disponible en la URL: <http://ed-web3.educ.msu.edu/reports/matter-molecules/>
- Martín del Pozo, R. La construcción didáctica del concepto de cambio químico, *Alambique*, 17, 65-75, 1998.
- Martínez-Torregrosa, J., Alonso-Sánchez, M., Carbonell-Gispert, F., Carrascosa-Alís, J., Domenech-Blanco, J.L., Domenech-Pastor, A., Domínguez-Blay, A., Osuna-García, I. y Verdú-Carbonell, R. *La estructura de todas las cosas*, capítulo Estructura corpuscular de la materia, pp. 73-100. Editorial Aguaclara: Alicante, 1997. Disponible en la URL: <http://www.curiedigital.net/>
- McEwan, H. y Bull, B. (1991). The pedagogic nature of subject matter knowledge. *American Educational Research Journal*, 28, 316-334.
- Mulhall, P., Berry, A. y Loughran, J. Frameworks for representing

- science teachers' pedagogical content knowledge, *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching* Volumen 4, Número 2, Artículo 2, 2003. Disponible en la siguiente URL http://www.ied.edu.hk/apfsl/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents
- National Research Council *National Science Education Standards*, Washington, DC, National Academic Press, ix + 252 pp., 1996.
- Novick, S. y Nussbaum, J. Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study, *Science Education*, **62**(3), 273-281, 1978.
- Novick, S. y Nussbaum, J. Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, *Science Education*, **65**(2), 187-196, 1981.
- Nussbaum, J. y Novick, S. Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accommodation: Toward a Principled Teaching Strategy, *Instructional Science*, **11**, 183-200, 1982.
- Nussbaum, J. The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase. In R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*, Open University Press: Philadelphia pp. 125-144, 1985. Traducido como La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa, en *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid: Morata, 1989.
- Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. A., Limón, M. y Sanz, A. *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: Centro de publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, 1991
- Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. A. y Sanz, A. When Change Does Not mean Replacement: Different Representations for Different Contexts. En Schnotz W, Vosniadou, S., Carretero M. (Eds.), *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*, Pergamon, Oxford, pp. 161-174, 1999.
- Raviolo, A. y Garritz, A. Editorial. Decálogos e inventarios, *Educación Química*, **16**(x), 106-110, 2005.
- Sánchez-Blanco, G. y Válcárcel-Pérez, M. V. 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* **24**, 78-86, 2000.
- Schwab, J. J. *Science, curriculum and liberal education*, Chicago, University of Chicago Press, 1978.
- Shulman, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching, *Educational Researcher*, **15**(2), 4-14, 1986.
- Shulman, L. S. y Sykes, G. *A national board for teaching? In search of a bold standard: A report for the task force on teaching as a profession*. New York: Carnegie Corporation, 1986.
- Shulman, L. S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform, *Harvard Educational Review*, **57**(1), 1-22, 1987.
- Shulman, L. S. Foreword en Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. ix-xii, 1999.
- Talanquer, V., Novodvorsky, I., Slater, T. F. y Tomanek, D. A Stronger Role for Science Departments in the Preparation of Future Chemistry Teachers, *Journal of Chemical Education*, **80**(10), 1168-1171, 2003.
- Talanquer, V. Formación Docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?, *Educación Química*, **15**(1), 52-58, 2004.
- Talanquer, V. Recreating a Periodic Table: A Tool for Developing Pedagogical Content Knowledge, *Chem. Educator*, **10**, 95-99, 2005.
- Tamir, P. Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education. *Teaching & Teacher Education*, **4**(2), 99-110, 1988.
- Thiele, R. y Treagust, D. An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations, *Journal of Research in Science Teaching*, **31**(3), 227-242, 1994.
- Treagust, D. F.; Chittleborough, G. y Mamiala, T. L. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations, *International Journal of Science Education*, **25**(11), 1353-1368, 2003.
- Trinidad-Velasco, R. y Garritz, A. Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, **14**(2), 92-105, 2003.
- Van Driel, J. H., Verloop, N. y de Vos, W. Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Journal of Research in Science Teaching*, **35**(6), 673-695, 1998.
- Van Driel, J. H., de Jong, O. y Verloop, N. The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Science Education*, **86**(4), 572-590, 2002.
- Van Driel, J. H., Bulte, A. M. W. y Verloop, N. The conceptions of chemistry teachers about teaching and learning in the context of a curriculum innovation. *International Journal of Science Education*, **27**(3), 303-322, 2005.
- Veal, W. R. The Evolution of Pedagogical Content Knowledge in Prospective Secondary Chemistry Teachers, *Proceedings of the Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching*, San Diego, CA., pp. 1-47, 1998. Versión electrónica consultada el 20 de febrero de 2004, en la siguiente URL <http://www.educ.sfu.ca/narstsite/conference/98conference/veal2.pdf>
- Veal, W. R. y MaKinster, J. G. Pedagogical Content Knowledge Taxonomies, *Electronic Journal of Science Education*, **3**(4), 1-18, 1999. Versión electrónica consultada el 20 de diciembre de 2004, en la siguiente URL <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev3n4.html>
- Veal, W. R. Beliefs and knowledge in chemistry teacher development *International Journal of Science Education*, **26**(3), 329-351, 2004.
- Veal, W. R. Content Specific Vignettes as Tools for Research and Teaching, *Electronic Journal of Science Education*, **6**(4), Article two, 2002 Versión electrónica consultada el 6 de diciembre de 2004, en la siguiente URL <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev6n4.html>