

# Conocimiento didáctico del contenido en química. Lo que todo profesor debería poseer.

## Pedagogical content knowledge in chemistry. Something all teachers should have.

(1) Andoni Garriz, (2) Elizabeth Nieto, (3) Kira Padilla,  
(4) Flor de María Reyes-Cárdenas, (5) Rufino Trinidad Velasco

---

(1) Facultad de Química de la Universidad Autónoma de México y Director de la Revista Educación Química de la UNAM).

(2-3-4) Facultad de Química de la Universidad Autónoma de México.

(5) Instituto de Educación Media Superior del D.F. Iztacalco, México.

(Fecha de recepción 28-04-2008)

(Fecha de aceptación 10-07-2008)

### Resumen

*Este estudio está dedicado a develar el tópico del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), el conocimiento disciplinario para la enseñanza como ha sido definido por Shulman (1986), algo que puede apreciarse en los profesores exitosos o expertos. El contenido que se ha escogido es el de la Química, así que se van a mostrar algunos de los resultados obtenidos en la documentación del CDC en maestros del bachillerato y en profesores universitarios, principalmente sobre la «estructura corpuscular de la materia» y sobre los conceptos de «reacción química» y «cantidad de sustancia» (incluida su unidad, el «mol»); los tres temas pertenecen al corazón de la enseñanza básica de la química. En la academia ya es hora de empezar a valorar seriamente la buena enseñanza, tanto como se valora la buena investigación.*

**Palabras Clave:** Conocimiento didáctico del contenido, buena enseñanza, Representación del contenido, Inventarios, química, estructura corpuscular de la materia, reacción química, cantidad de sustancia.

### Summary

*This work is devoted to a study of the topic of Pedagogical Content Knowledge (PCK), the subject matter for teaching as has been defined by Shulman (1986), something which every expert or successful teacher must have. Chemistry is the content that was chosen, therefore we will show some of the results of PCK in chemistry high school*

teachers and college professors, mainly in relation to the «particle structure of matter», and the concepts of «chemical reaction» and «quantity of substance» (including its unit, the «mole»); the three topics belong to the core of basic Chemistry teaching. Academia must seriously begin to value expert teaching as much as it values expert research.

**Key Words:** Pedagogical content knowledge, expert teaching, Content Representation, Inventories, chemistry, particle structure of matter, chemical reaction, quantity of substance.

## 1. Introducción sobre Conocimiento Didáctico del Contenido<sup>1</sup>

Lee S. Shulman (1999: P. ix) relata lo que le ocurrió en el verano de 1983, cuando dictó una conferencia en la Universidad de Texas, en Austin, la que 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... 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’.”*

Shulman (1986) plantea que la famosa frase de descrédito para los profesores expresada por George Bernard Shaw (1903): “*El que puede, hace. El que no puede, enseña*”, debe transformarse en “*Aquellos que pueden, hacen. Aquellos que entienden, enseñan.*”. Habla también sobre la importancia del conocimiento de los profesores y la influencia decisiva que tiene sobre la práctica. Menciona que para ubicar el conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores, hay que distinguir tres tipos del mismo:

A. El conocimiento del contenido temático de la asignatura, (CA)

B. El conocimiento didáctico del contenido (CDC) y

C. El conocimiento curricular (CC).

Para caracterizar al segundo, dice que “es el conocimiento que va más allá del tema de la materia *per sé* y que llega a la dimensión del conocimiento de la materia *para la enseñanza*” (Shulman, 1987, p. 9). En el CDC 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). El CDC 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”. Si estas concepciones son alternativas al conocimiento científico, como a menudo sucede, los profesores necesitan el conocimiento de las estrategias que con mayor probabilidad van a ser fructíferas en la reorganización del entendimiento de los aprendices.

Menciona Geddis (1993) que un pro-

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 didácticas del profesor exitoso versan sobre contenidos específicos, es decir, forman parte del CDC.

Cochran, DeRuiter y King (1993), en un sentido más amplio, definen el CDC como el entendimiento integrado de los cuatro componentes que posee un profesor: pedagogía, conocimiento temático de la materia, características de los estudiantes y el contexto ambiental del aprendizaje. Idealmente, el CDC se genera como una síntesis del desarrollo simultáneo de dichas cuatro componentes. Insisten en que lo importante es el conocer del profesor como un proceso activo acerca del aprendizaje de sus estudiantes y del contexto ambiental en el cual tiene lugar la enseñanza y el aprendizaje, por ello le denominan “Conocer Didáctico del Contenido” (colocan el infinitivo del verbo para denotar “acción”) en lugar de “Conocimiento Didáctico del Contenido”.

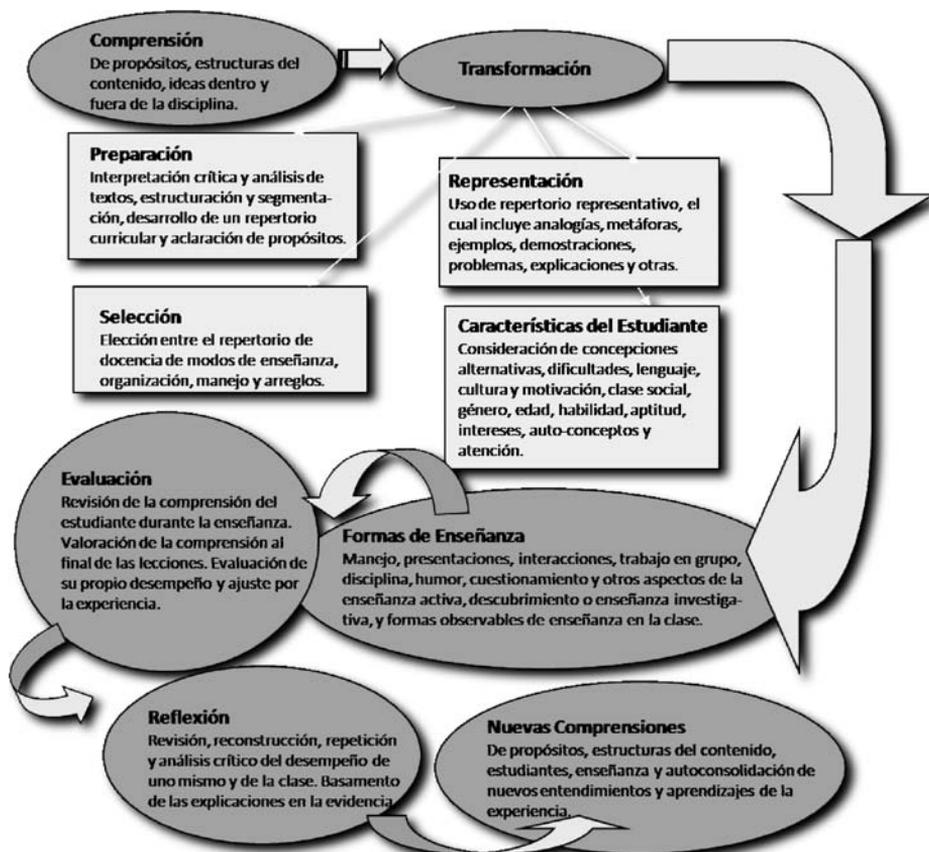
Yves Chevallard (1991) maneja un concepto relacionado con el CDC, el de transposición didáctica:

“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 un objeto del saber científico en un objeto de enseñanza, es denominado la transposición didáctica”.

La transposición didáctica incluye la selección y preparación de representaciones que el profesor emplea para hacer más comprensible el concepto, las cuales podemos considerar como parte del razonamiento pedagógico y la acción que plantea Shulman (1987), el que ha sido ajustado a un diagrama por Salazar (2005, ver la figura 1). Podemos decir que la transposición didáctica considera algunos de los tópicos desplegados en el rubro “Transformación”, mientras que el CDC lo incluye todo el razonamiento pedagógico, en lo relativo al contenido particular.

En la didáctica de las ciencias, el CDC ha sido usado 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).

Figura 1. Razonamiento pedagógico y acción, según Shulman (1987; Table 1 P. 15).



Estos autores insisten en que el CDC 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. Su investigación identifica la experiencia docente como la mayor fuente del CDC, mientras que insisten en que un conocimiento adecuado de la disciplina es un requisito. Describen el CDC como la reunión de los tres siguientes 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;
- Conocimiento de estrategias instruccionales que incorporen tales representaciones.

Magnusson, Krajcik y Borko (1999) identifican por su parte cinco elementos clave del CDC:

A. Visión y propósito de la enseñanza de la ciencia;

B. Conocimiento y creencias sobre el currículo de ciencia;

C. Conocimiento y creencias acerca del entendimiento estudiantil sobre tópicos específicos de ciencia;

D. Conocimiento y creencias sobre estrategias instruccionales para enseñar ciencia;

E. Conocimiento y creencias sobre evaluación en ciencia.

Con los elementos hasta aquí descritos basta para sentar la idea de que existe un constructo llamado Conocimiento Didáctico del Contenido, con unas características más o menos precisas, que el profesor adquiere poco a poco durante su formación y que refuerza paulatinamente conforme crece su experiencia docente. Algo más de información puede obtenerse en las siguientes referencias de dos de los autores de este trabajo, en los que se dan ejemplos de la aplicación del CDC al campo de conocimientos de la química (Garritz y Trinidad-Velasco, 2004; 2006; 2007).

## 2.- ¿Cómo documentar el CDC?

Es claro que reconocer y articular el CDC de un profesor es un proceso complejo y difícil. Hay muchas razones para ello, entre otras que el CDC (Baxter y Lederman, 1999; Loughran et al, 2001):

- No está asociado con la impartición de una determinada lección. Las actividades de la buena docencia pueden contribuir al mismo, pero por lo general no son ejemplos explícitos *per sé*. Se trata de una noción compleja que es reconocible sólo sobre un periodo largo de tiempo, ya que 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 de expresar.

Recientemente, Loughran, Mulhall y Berry (2004) presentaron dos herramientas para “retratar”, dicen, el CDC de los profesores:

- CoRe (*Content Representation, ReCo* en español, por “Representación del Contenido”).

- PaP-eRs (*Professional and Pedagogical experience Repertoires, Inventarios* [Raviolo y Garritz, 2005], en español, o RePyPs “Repertorios de experiencia profesional y pedagógica”).

Para obtener la Representación del Contenido (ReCo) se empieza por extraer del profesor las ideas o conceptos centrales de su exposición del tema, y para cada idea central se le preguntan las ocho cuestiones de la tabla 1.

Tabla 1. Marco de cuestiones para obtener la ReCo.

A. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?
B. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?
C. ¿Qué más sabes sobre esta idea?
D. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?
E. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de esta idea?
F. ¿Cuáles otros factores influyen en la enseñanza de esta idea?
G. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con la idea?
H. ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre la idea?

De esta manera, la ReCo es una matriz en cuyas columnas aparecen las ideas centrales para impartir el tema que han sido declaradas por el profesor y en las filas cada una de estas ocho preguntas. Toma un buen tiempo a los profesores entrevistados llenar esta matriz y, si existe la confianza para responder, se logran documentar las ideas centrales; los objetivos de la enseñanza declarados por el profesor; el conocimiento de las concepciones alternativas de los alumnos y sus dificultades de aprendizaje; la secuenciación apropiada de los tópicos; el empleo correcto de analogías y ejemplos; formas de abordar el entramado de ideas centrales; los experimentos, problemas y proyectos que el profesor emplea durante su clase; formas ingeniosas de evaluar el entendimiento, entre otras.

Sin duda, un profesor experto y otro novato tendrían ReCos reconocibles. Uno escribiría miles de palabras bien ar-

ticuladas y el otro apenas un par de cientos, y bastante desorganizadas. Por lo tanto, a nuestro gusto la ReCo puede servir para identificar la calidad de un profesor y, ya lo veremos, también para conocer sus concepciones epistemológicas.

Los Repertorios de Experiencia Profesional y Pedagógica, por otra parte, son explicaciones narrativas del CDC de un profesor para una pieza particular de contenido científico. Cada Inventario “desempaca” el pensamiento del profesor alrededor de un elemento del CDC de ese contenido. Los Inventarios son ampliaciones de alguno o algunos espacios de la matriz de la ReCo que muestran la acción en el salón de clases llevada a cabo por el profesor en cuestión y están basados en observaciones *in situ* y comentarios hechos por él o ella durante las entrevistas en las cuales se desarrolla la ReCo.

### 3.- Conocimiento Didáctico del Contenido y la calidad de las clases del profesor.

El mismo Shulman (2004), en su capítulo 7 “Toward a Pedagogy of Substance” menciona un conjunto de criterios importantes para juzgar la enseñanza exitosa. Habla de por qué Jaime Escalante, un profesor destacado de origen hondureño que labora en los Estados Unidos, es un gran modelo de profesor, cómo esa grandeza evoluciona con el tiempo y crece a través de la experiencia. Dice Shulman que Jaime presenta toda una serie de factores que atribuimos a los buenos profesores:

“sentido de obligación, responsabilidad moral y ética, así como pedagógica, para enseñar a los jóvenes que le son encomendados (P. 129)... La gran enseñanza es la intersección magistral de alguien que entiende a profundidad el contenido de la materia y que comprende cómo es exquisitamente complejo hacer accesible su conocimiento al proceso de conocer de aquellos que no lo entienden todavía (P. 133)”.

A llevar a cabo con efectividad esa dupla de acciones Shulman le llama “Pedagogía sustancial” (*A Pedagogy of substance*, en el original). Debe remarcar desde ahora que el dominio del contenido y el conocimiento estudiantil son dos de las más importantes componentes del CDC.

Abell (2007, P. 1134) dice al final de su capítulo que “el último objetivo de la investigación sobre el conocimiento de los profesores no es únicamente entenderlo, sino también el beneficio de la práctica y, por ende el mejoramiento del aprendizaje estudiantil.”

Van Driel, Verloop y de Vos (1998)

en los antecedentes del CDC mencionan que en la década de los años ochenta la atención de la investigación sobre la enseñanza y la formación de profesores se sesgaron de los comportamientos observables y las habilidades de enseñanza hacia el terreno del conocimiento y las creencias de los profesores. Para comprender por qué éstos se comportan como lo hacen, se hacía necesario investigar cómo construyen los significados en el salón de clase. En un inicio esta investigación se centró en el pensamiento de los profesores, y con el tiempo desembocó en su conocimiento práctico o conocimiento artesanal (*Teachers' Craft Knowledge*, en el original). Estos autores definen “el conocimiento artesanal como el conocimiento integrado que representa la sabiduría acumulada del profesor con respecto a su práctica de enseñanza” (P. 675) y consideran “el CDC como una forma específica del conocimiento artesanal”. Por lo tanto, el crecimiento del CDC implica el crecimiento de dicha sabiduría práctica en el contenido específico relacionado.

Cuando se investiga la práctica de la enseñanza como función de la familiaridad del profesor con un dominio específico, se llega a la conclusión de que cuando enseña un tópico poco familiar, el profesor posee poco conocimiento de los problemas potenciales de los alumnos y de sus preconcepciones específicas, y tiene conflicto en seleccionar las representaciones más adecuadas para enseñar la disciplina. En pocas palabras, posee un CDC limitado, aunque se trate de un profesor distinguido en otro tópico diferente, más familiar para él.

Barnett y Hodson (2001) plantean un

nuevo término: “Conocimiento Pedagógico del Contexto” en el camino para entender qué saben los profesores exitosos, y qué los diferencia de los no tan exitosos. Así pues, estos autores buscan diferencias entre estas dos categorías de profesores (exitosos y poco exitosos):

“Estamos especialmente interesados en por qué algunas estrategias particulares son exitosas para algunos profesores, pero no para otros. ¿Cuáles son las prácticas de los profesores de ciencia exitosos que ‘hacen la diferencia’? ¿Qué es lo que esos profesores de ciencia exitosos saben que informa, dirige y controla sus acciones? ¿En qué tipo de conocimiento básico está localizado el carácter de experto (*expertise*, en el original) en la enseñanza de la ciencia?” (P, 427)

Incluyen en el Conocimiento Pedagógico del Contexto cuatro tipos de conocimiento, con los siguientes porcentajes de cada uno en su investigación de categorización de frases emitidas por seis buenos profesores de la enseñanza secundaria (puede observarse que la mayor proporción de las frases empleadas por los profesores en las entrevistas tienen que ver con el CDC):

Conocimiento académico y de investigación	19.7%
Conocimiento Didáctico del Contenido	44.5%
Conocimiento Profesional	21.2%
Conocimiento del salón de clases	14.6%

Barnett y Hodson incluyen, dentro de la categoría del Conocimiento Didáctico 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.
- Estrategias para personalizar la educación en ciencias.

Talanquer (2004) comenta que “Aunque gran variedad de autores ha identificado características deseables en la formación del profesorado (Gil-Pérez, 1991; Furió, 1994), poco se sabe sobre el impacto que una u otra característica tiene en la eficacia de la actividad docente.” El éxito del profesor “parece depender de su habilidad para transformar el conocimiento disciplinario que posee en formas que resulten significativas para sus estudiantes. Esta transformación pedagógica del conocimiento científico requiere que el docente domine la materia, pero con propósitos de enseñarla.” Vemos que Talanquer se refiere al CDC, cuando añade:

“esta «recreación» del contenido demanda, entre otras cosas, que el docente: identifique las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema; reconozca las probables dificultades conceptuales que enfrentarán sus alumnos y su impacto en el aprendizaje; identifique preguntas, problemas o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas; seleccione experimentos, problemas o proyectos que permitan que los estudiantes exploren conceptos e ideas centrales en la disciplina; construya explicaciones, analogías o metáforas que faciliten la comprensión de conceptos abstractos; diseñe actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.” (P. 53)

Sin duda, con esta descripción Talanquer aporta una estupenda definición del CDC.

La simple sugerencia de que los docentes expertos en una cierta disciplina poseen un conocimiento que los distingue resulta digna de reflexión. Si este tipo de conocimiento tiene una clara influencia en la eficacia del docente en el aula, resulta interesante tratar de identificar de qué manera el CDC determina la forma de pensar del docente, las decisiones que toma, y las acciones que emprende en el salón de clases. Éstas son las cuestiones que guían el análisis y la discusión en el presente artículo. Más que presentar respuestas definitivas, el objetivo central es motivar la reflexión sobre la naturaleza del conocimiento que caracteriza al docente de química exitoso.

Tobin y Fraser (1990) concluyen que las tendencias más frecuentes marcan que los profesores ejemplares (*exemplary*, en el original) de ciencia:

1) Utilizan estrategias de gestión que facilitan el compromiso estudiantil sostenido;

2) Usan estrategias diseñadas para incrementar el entendimiento estudiantil de la ciencia;

3) Ponen en práctica estrategias que fomentan la participación estudiantil en actividades de aprendizaje;

4) Mantienen un ambiente de aprendizaje favorable en el aula.

Llamamos la atención en que tres de las cuatro características que atribuyen a un profesor ejemplar tienen que ver con el empleo de estrategias, que es uno de los elementos que se mencionan como parte del CDC. El cuarto elemento de los profesores ejemplares (el del ambiente favorable en el salón de clases) debería formar parte del CDC, aunque la porción

afectiva no se ha marcado explícitamente como integrante del mismo, sino acaso del conocimiento pedagógico general. No obstante, hay una parte del contenido afectivo que tiene que ver con el contenido disciplinario y que quizás tenga cierta relación con el CDC. Por ejemplo, el odio por el aprendizaje de las matemáticas o la química, el cual tiene mucho que ver con la complejidad de estas disciplinas. Así la porción afectiva del aprendizaje (según McLeod, 1992) engloba creencias, actitudes y emociones. Dentro de las dos primeras hay una gran cantidad de cosas que tiene que ver con el campo disciplinario, tales como:

- Creencias sobre la naturaleza del campo disciplinario y su aprendizaje

- Creencias sobre uno mismo como aprendiz del campo disciplinario

- Creencias sobre la enseñanza del campo disciplinario

- La componente cognitiva de la actitud tiene que ver con expectativas y preferencias por el campo disciplinario y

- Su componente afectiva tiene que ver con sentimientos, emociones y estados de ánimo provocados por la disciplina (y varían de una disciplina a otra con mucha facilidad).

Tobin (2006) se deleita hablando de la manera como los buenos profesores emplean metáforas para dar sus clases. Siendo éstas parte de las estrategias de la enseñanza mencionadas por Shulman, hay que recordar que las metáforas forman parte del CDC. Menciona este autor que “las metáforas parece que organizan una variedad de creencias, valores y prácticas” (P. 155).

En ese mismo capítulo Tobin habla acerca de la centralidad del respeto como una herramienta imprescindible para la buena docencia. En ese sentido apuntamos desde ahora la faceta afectiva como crucial para la enseñanza y el aprendizaje de calidad, cuestión que, repetimos, no han incluido en el CDC la mayoría de los investigadores y que, sin duda, debe formar parte de nuestro análisis de la buena docencia:

“Conforme yo creé un capital social, más estudiantes me aceptaron como su profesor, y una espiral creciente hacia arriba tuvo lugar conforme el capital social y simbólico interactuaron positivamente, permitiéndome enseñar, construir una relación de comunicación con los estudiantes y lograr un prestigio de identidad como un ‘buen’ profesor de ciencia. Tobin (2006, P. 160).

#### **4.- La estructura corpuscular de la materia**

El modelo cinético corpuscular es uno que ha dado explicaciones claras acerca de las propiedades de la materia, desde su presentación por James Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann en la segunda mitad del siglo XIX.

Fue muy criticado por Ernst Mach para quien la meta de la ciencia era proveer relaciones lógicas y racionales entre los hechos y fenómenos que podían ser observados directamente. La teoría cinética, replicaba Mach, “sugiere reemplazar las leyes aceptables y simples de la termodinámica con nuevas y misteriosas explicaciones basadas en suposiciones improbables acerca de la existencia y propiedades de los átomos.”

Si hubo esa reticencia en el sector científico, es imaginable la existente en

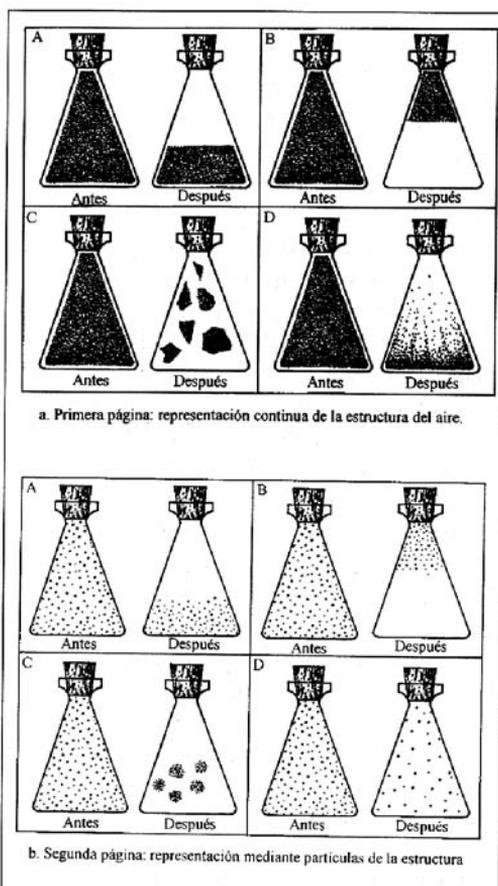
las mentes de los alumnos desde ese entonces. Los profesores, desde la enseñanza secundaria, deben enfrentar las concepciones previas de sus alumnos en relación con la estructura de la materia (Trinidad y Garriz, 2003). Hay desde aquellos que consideran que la materia es un ente continuo (que parece, en cierto sentido, como crema de cacahuete); pasando por los que sí aceptan la existencia de corpúsculos, aunque atribuyen a éstos el comportamiento de la materia en bulto (los átomos del azufre son amarillos, los de los metales son dúctiles y conducen la electricidad, los del neón son fluorescentes y los de carbono inflamables); hasta los que han asimilado de alguna manera su naturaleza corpuscular más cercana a la visión científica vigente. Por esa razón, los profesores de ciencia de la secundaria y el bachillerato han de contar con un CDC muy especial sobre este tema, porque deben vencer esas “concepciones alternativas” para complementarlas hacia la concepción científica, proceso que se conoce en la jerga educativa como “el cambio conceptual” (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982).

Joseph Nussbaum (1985) recopila sus hallazgos de diez años de investigación sobre adolescentes israelitas, en los que identifica en ellos la concepción continua y discreta de la materia en la fase gaseosa, al preguntar a los alumnos cómo se vería el gas remanente en un matraz después de haber extraído parcialmente el gas que contenía (ver la figura 2). Encuentra también la dificultad de concebir la estructura corpuscular de la materia y, ya adquirida ésta, la poca frecuencia de identificar el vacío entre

las partículas del gas [ver en la figura 3 la pregunta que años después haría Llo-

rens (1988) a estudiantes españoles, con sus respuestas correspondientes].

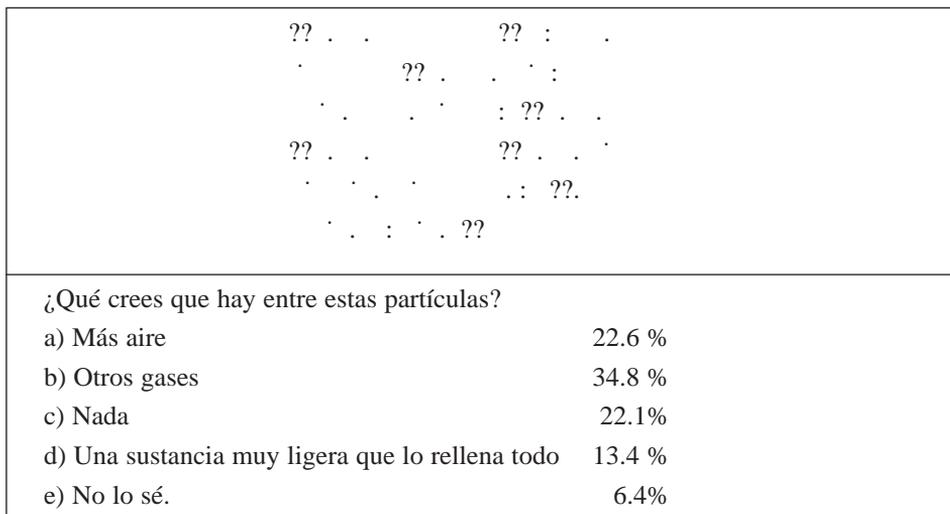
Figura 2. Algunas de las representaciones del gas antes y después de la extracción parcial.



Nussbaum concluye con algo que debe formar parte del CDC 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

cuatro aspectos son: la existencia de corpúsculos (naturaleza corpuscular); el espacio vacío entre ellos (el concepto de vacío), el movimiento intrínseco (cinética de partículas) y la interacción entre partículas (transformación química).”

Figura 3. Ítem 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:



Estos cuatro aspectos son, según las opiniones de investigadores educativos actuales, las fuentes de mayores problemas de aprendizaje, por lo cual se han ideado múltiples formas de enfocar la enseñanza del tópico con elementos estratégicos para abordar estas dificultades, las cuales constituyen el CDC de los buenos profesores de hoy, incluido el uso de las tecnologías de la información y la

comunicación (TIC), gracias a las cuales podemos enseñar mucho más fácilmente que la naturaleza de la materia se explica mejor con la existencia de corpúsculos, que se mueven constantemente, que tienen entre ellos el vacío más absoluto y que se combinan unos con otros en interacciones de tipo químico (ver las figuras 4 y 5).

Figura 4. La ley de Boyle (a menor volumen en un gas, mayor presión) ejemplificada gracias al modelo cinético corpuscular.

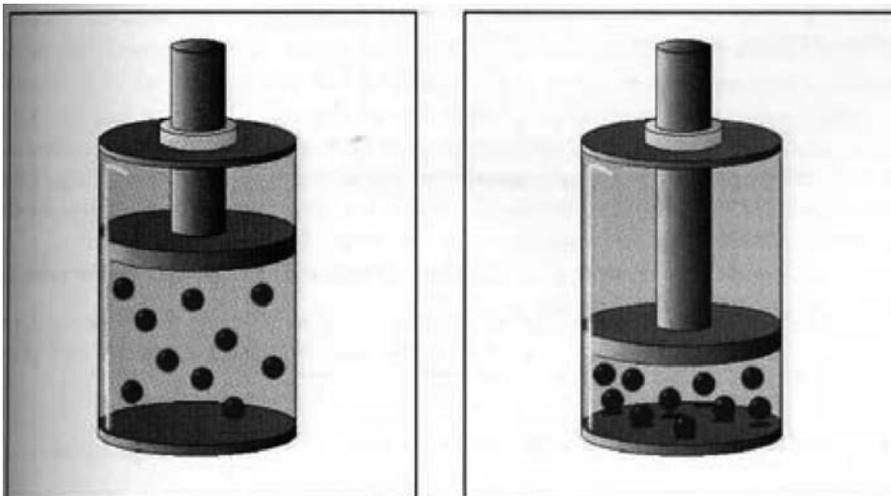
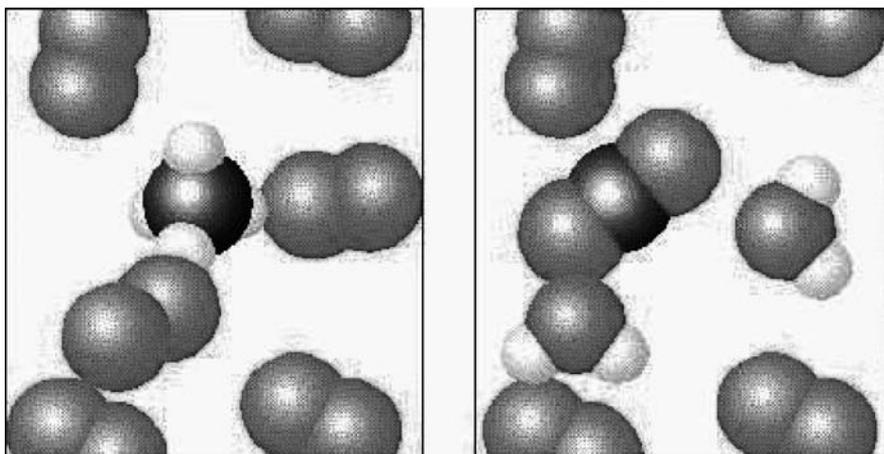


Figura 5. Reacción entre la molécula de metano,  $\text{CH}_4$  (con un carbono negro y cuatro hidrógenos blancos, a la izquierda) y dos de oxígeno,  $\text{O}_2$  (moléculas dinucleares rojas). Notar que los productos de la reacción son una molécula de dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$  y dos de agua,  $\text{H}_2\text{O}$ .



Para ver de qué forma los profesores de la región iberoamericana enfrentan la enseñanza de la estructura corpuscular de la materia, se documentó por la técnica de Loughran, Mulhall y Berry (2004) el CDC de dieciséis profesores distinguidos del bachillerato mexicanos y argentinos (Garriz, Porro, Rembado, y Trinidad, 2007). Los profesores están adscritos a tres instituciones: Bachillerato de la UNAM (3 profesoras del Colegio de Ciencias y Humanidades y 2 de la Escuela Nacional Preparatoria), 5 profesores

del Instituto de Enseñanza Media Superior del Distrito Federal y 6 profesoras del nivel polimodal de Buenos Aires, Argentina.

Se encontró una ReCo de consenso de los 16 profesores en el que los cuatro aspectos citados por Nussbaum eran mencionados como ideas centrales en la enseñanza del tema (ver los puntos I a IV del cuadro 3). Estos profesores lograron un conjunto interesante de ideas centrales sobre las cuales contestaron la ReCo.

Cuadro 3. Ideas centrales de consenso de 16 profesores de bachillerato de México y Argentina.

- 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.

Los resultados apuntan a que las ReCos dependen de la experiencia profesional de los profesores entrevistados, así como del desarrollo curricular que apliquen en su labor (Garriz, Porro, Rembado y Trinidad, 2007).

Recolectamos tres Inventarios en esta investigación

• “Elaborando un modelo” (La experiencia de la caja negra). Elaborado por

María de Lourdes García Jiménez, del CCH, UNAM, México.

• “Las imágenes de los átomos” (El microscopio electrónico de barrido como medio para mostrar imágenes reales de átomos). Elaborado por Diana Roncaglia del nivel polimodal argentino.

• “Otras formas de ver el mundo” (Trabajos prácticos para tratar de vencer a los alumnos sobre la estructura

corpuscular). Elaborado por Lourdes Juárez del Instituto de Educación Media Superior del Distrito Federal, México.

### 5.- El concepto de «Reacción química» (RQ)

Sobre este tema han aparecido publicados (Reyes y Garritz, 2006) o están en tránsito de hacerlo (Nieto, Garritz y Reyes, 2008) dos artículos. En ellos se documenta y discute el CDC de cinco profesores experimentados en el curso de Química General Universitaria sobre el concepto de RQ. Se trata de cinco profesores exitosos, pues poseen una antigüedad promedio de treinta años, han impartido al menos durante diez años la asignatura 'Química General', se caracterizan por involucrarse en un tipo de enseñanza centrado en los estudiantes, o sea, uno no tradicional, y cuentan con libros

y otros materiales impresos relacionados con la enseñanza.

En este caso se ha seguido también la metodología de la Representación del Contenido (ReCo) y de los Repertorios de experiencia Profesional y Pedagógica (RePyPs) de Loughran *et al.* (2004). Mulhall, Berry y Loughran (2003) presentaron en una conferencia dos ReCos diferentes sobre el concepto de RQ, con los cuales se compararon las de los cinco profesores mexicanos.

En esta ocasión dejamos en libertad a los profesores para seleccionar las ideas o conceptos centrales sobre el tema, razón por la cual sus ReCos no tienen un conjunto común de columnas en la matriz. Las ideas centrales más mencionadas por tres o más profesores fueron las de la tabla 2 (se coloca a la derecha la redacción dada por los australianos a las mismas ideas:

Tabla 2. Ideas centrales más socorridas por los profesores mexicanos que son comunes con las informadas por Mulhall, Berry y Loughran (2003)

Investigación mexicana	Investigación australiana
Formación de nuevas sustancias	En una reacción química (una o más) nuevas sustancias se producen
Tipos de reacciones	Existen patrones para muchas reacciones químicas
Representación de reacciones	Las ecuaciones describen a los reactivos y productos en una reacción

Reyes y Garritz (2006) destacan los siguientes puntos:

- Un problema que presenta la enseñanza de este tema es que en ocasiones, para muchos alumnos, la aparición de

sustancias no es visible; así mismo, se les dificulta comprender que aparezcan nuevas sustancias y que se conserve la materia.

- Solamente llegan a aceptar lo anterior cuando abordan la reacción química a nivel microscópico y verifican que lo que se conserva es el número de átomos de cada elemento.

- El alumno debe llevar a cabo reacciones reales, inclusive en la balanza, y debe intentar escribirlas con lenguaje simbólico, aunque falle al principio.

- Se recomienda que el estudiante observe y analice varias RQ hasta que saque sus propias conclusiones acerca de lo que una RQ representa. Resulta importante que el profesor presente algunos ejemplos como demostraciones de cátedra.

- En cuanto a las concepciones alternativas de los alumnos, el CDC de los profesores entrevistados contiene gran cantidad de información, particularmente en cuanto a los conceptos centrales ‘sustancia’ y RQ.

- Al profesor le conviene al empezar el tema hablar de lo vano que resulta diferenciar los cambios químicos de los físicos.

Resumiendo, los aspectos que los profesores entrevistados insisten como importantes para la enseñanza de este tema son los siguientes. Se trata de algo así como un decálogo de puntos importantes a considerar cuando se pretenda dar una clase efectiva sobre este tema. Sin duda algo a considerar por los profesores en formación para cultivar su CDC:

1. La importancia de conocer las concepciones alternativas de los estudiantes.

2. La forma de comprobar que existe conservación de la masa en una RQ es llevándola a cabo en un recipiente cerrado sobre una balanza.

3. El balance de elementos como algo básico para comprender la cuantitatividad de las reacciones y la conservación de la materia.

4. Lo fundamental de la idea de “Representación de reacciones” que toca las tres puntas del Triángulo de Johnstone.

5. El uso del concepto de «cantidad de sustancia».

6. Poner atención con relación a los aspectos del “lenguaje”.

7. Lo vano que resulta hablar de cambios físicos y cambios químicos.

8. La importancia de ver antes del tema de reacción química el de la estructura corpuscular de la materia.

9. Primero hablar del concepto de «sustancia».

10. Lo importante de la enseñanza experimental para la idea central de «tipos de reacciones».

## **6.- La «cantidad de sustancia» y su unidad el «mol»**

Recolectamos en este trabajo la Reco y dos inventarios de cuatro profesoras latinoamericanas destacadas (empleamos aquí el sexo femenino para ocultar de alguna manera la identidad de los participantes) sobre el concepto «cantidad de sustancia» y su unidad el «mol» (Garriz, Padilla, Ponce de León y Rembado, 2007; que incluye los dos inventarios desarrollados y; Padilla, Ponce, Rembado, y Garriz, 2008). Otro trabajo de los autores ofrece una alternativa didáctica para la enseñanza de este tema, en particular (Garriz, Gasque, Hernández y Martínez, 2002).

Para no construir cuatro ReCos demasiado diversas, empezamos por preguntar a cada una de las cuatro profesoras sus ideas o conceptos centrales con relación al tema y fuimos dando a conocer a cada una de ellas las ideas seleccionadas por las otras profesoras para ver si les convencían más que las suyas, avanzando hacia la construcción paulatina de un conjunto de ideas centrales consensuadas entre las cuatro. Las seis ideas centrales a las que llegamos después de alcanzar el consenso fueron las siguientes:

1. Magnitudes fundamentales del sistema internacional de unidades. «Cantidad de sustancia».

2. Masas atómicas relativas.

3. Mol, la unidad de «cantidad de sustancia».

4. Masa molar.

5. Hipótesis de Avogadro y el volumen molar.

6. Número de entidades elementales y constante de Avogadro.

Entonces les pedimos a las cuatro profesoras que respondieran el cuestionario de la ReCo para este conjunto de ideas centrales, logrando reunir las cuatro matrices con cuarenta y ocho descripciones (seis ideas por ocho preguntas para cada una). En este tema específico se hicieron algunas modificaciones a las preguntas de la ReCo originalmente planteadas por Loughran *et al.* (2004), debido al interés de los autores por el desarrollo epistemológico del concepto de «cantidad de sustancia». Además, para hacer el análisis se requería encontrar una manera de caracterizar lo dicho por cada una de las profesoras, para lo cual

empleamos el modelo del perfil conceptual de Mortimer (1995). Este modelo acepta diferentes formas de pensamiento en diferentes dominios. Está tomado a partir del perfil epistemológico de Gastón Bachelard (1940), atribuyendo a cada dominio una zona del perfil conceptual. Estas zonas tienen un carácter epistemológico y van desde el sentido común hasta las ideas científicas, cada una con un poder explicativo mayor que su predecesora. Hemos utilizado este modelo para caracterizar el modelo de enseñanza y entendimiento de los profesores y cuyo énfasis se ve manifestado en el momento en el que el profesor exhibe sus compromisos epistemológicos y ontológicos.

Las zonas del perfil conceptual fueron construidas analizando, en primer lugar, los principales obstáculos de la enseñanza de la «cantidad de sustancia» (Furió *et al.*, 2000; Strömdahl *et al.*, 1994), los que son caracterizados de la siguiente manera como diferentes concepciones acerca del mol:

- Un mol es una porción de una sustancia.
- Un mol es una masa específica.
- Un mol es únicamente usado para cálculos estequiométricos.
- Un mol es equivalente al número de Avogadro.
- Un mol es la unidad de la magnitud física llamada «cantidad de sustancia».

Por esa razón, en este caso se definieron las siguientes cinco zonas del perfil conceptual:

- **Perceptiva/intuitiva.** Esta zona incluye las expresiones sobre «cantidad

de sustancia» relacionadas con impresiones inmediatas, sensaciones e intuiciones, a falta de estructura o sistematización. Conceptos como “la docena del químico” pertenecen a esta zona por su simplicidad. Se trata de ideas que responden a reflexiones personales y subjetivas del profesor, que constituyen ideas cotidianas.

- **Empirista.** Las ideas que son colocadas en esta zona muestran de forma clara y precisa el uso de escalas empíricas, como la masa o el volumen de una determinada sustancia y ambas magnitudes son cercanas a la percepción diaria y son de naturaleza macroscópica.

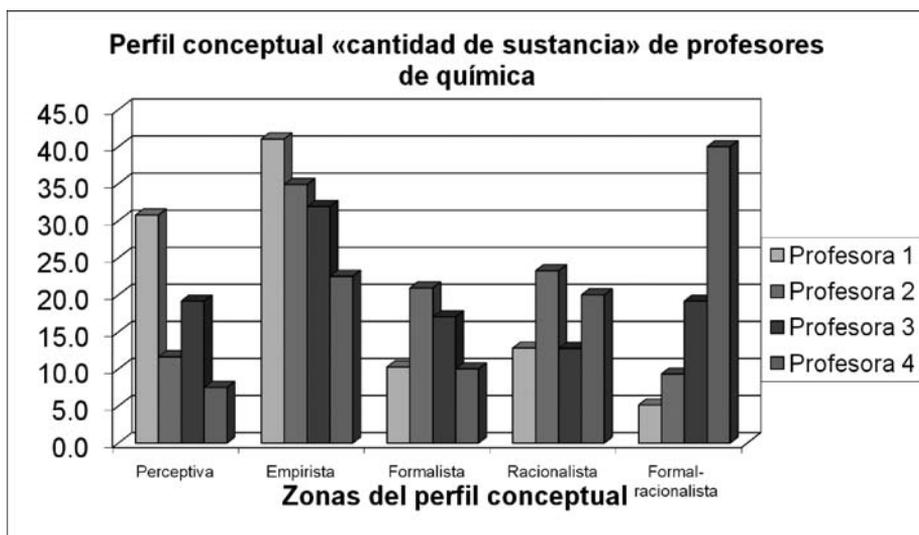
- **Formalista.** Esta zona se caracteriza por el uso de algoritmos y de fórmulas matemáticas como herramientas analíticas, que se aplican sin una compren-

sión cabal de las relaciones conceptuales involucradas.

- **Racionalista.** En esta zona el discurso es fundamentalmente construido alrededor de una visión nanoscópica, expresado en términos del número de entidades elementales y sin tomar en cuenta la comprensión macroscópica del concepto.

- **Racionalista Formal.** En esta zona, la «cantidad de sustancia» es comprendida de forma completa como una red conceptual, es decir, no meramente como resultado de una experiencia empírica e inmediata, sino de acuerdo con la concepción científica del concepto. En esta zona tanto los aspectos macroscópicos como los nanoscópicos son relacionados y comprendidos.

Figura 6. Frecuencias de cada una de las zonas del perfil conceptual en las frases de la ReCo para cada profesora



Se procedió a clasificar dentro de alguna de las cinco zonas del perfil conceptual todas las frases de la ReCo de

cada profesora y, posteriormente se contaron todas las frases de cada zona, alcanzándose el resultado de la tabla 3.

Tabla 3. Número de oraciones de cada profesora localizadas en cada una de las zonas del perfil conceptual

Profesora	Perpectiva/intuitiva	Empiricista	Formalista	Racionalista	Formal-racionalista	TOTAL
1	12	16	4	5	2	39
2	5	15	9	10	4	43
3	9	15	8	6	9	47
4	3	9	4	8	16	40

Calculando los porcentajes de aparición de cada zona, obtenemos el resultado en la figura 6 de la página anterior. Vemos como conclusión que existen diferentes formas de impartir el concepto «cantidad de sustancia», a pesar de que estamos frente a un conjunto de profesores ejemplares. ¿Son válidas todas estas diversas formas de enseñanza?

Una segunda clasificación, más cercana a la historia de la química, es aislar los pensamientos de las profesoras en dos visiones paradigmáticas inconmensurables de la enseñanza de «cantidad de sustancia»: uno es el paradigma equivalentista, en el cual la «cantidad de sustancia» es representada como una masa de reacción y el otro es el atomista, que considera como real la posibilidad de contar las entidades elementales asociadas a los reactivos y los productos de una reacción, por la vía de representaciones macroscópicas (Padilla y Furió, 2008).

Podemos observar que hay diferentes concepciones epistemológicas de los

profesores que influyen en su manera de dar la clase. Van desde la visión perceptiva-empírica del profesor 1 quien representa el paradigma equivalentista, en el que la «cantidad de sustancia» es vista primordialmente como importante para determinar la relación de masas de las especies participantes en una reacción química, hasta la formal-racionalista de la profesora 4. Ésta sigue el paradigma atomista, en el que se ve a la «cantidad de sustancia» como una cantidad macroscópica que representa un cierto número de entidades elementales nanoscópicas.

Una forma similar de decidir las zonas del perfil conceptual fue tomada por Solsona, Izquierdo y de Jong (2003) en un estudio de campo sobre el concepto de «Reacción química», que se realizó en una muestra de 51 estudiantes de bachillerato, a lo largo de dos años consecutivos. Estos autores eligieron las zonas del perfil conceptual como incoherente, cocina, mecano e interactivo y las

emplearon no para caracterizar las formas de desempeño de uno o más profesores durante la clase, sino para sentar los diferentes dominios de aprendizaje de los estudiantes:

- Perfil “incoherente”. El cambio químico no llega a ser explicado por los alumnos ni los ejemplos que se aportan son razonados. Se usa una terminología ambigua que no se sabe si se mueve en un nivel macroscópico o microscópico.

- Perfil “cocina”. Los alumnos que preferían este perfil mantenían un discurso centrado principalmente en el fenómeno, explicándose el cambio a nivel macroscópico en términos de un cambio físico o simplemente como un cambio en las propiedades.

- Perfil “mecano”. En este caso los estudiantes se caracterizan por un discurso construido en torno a una explicación microscópica del cambio, sin prestar atención a la vertiente fenomenológica.

- Perfil “interactivo”. Éste es el perfil más completo desde el punto de vista epistemológico, ya que el cambio químico es interpretado en términos de un cambio de sustancias, esto es, de la formación de nuevas sustancias que reemplazan las otras iniciales. Hay una relación coherente y equilibrada entre los niveles de explicación microscópico y macroscópico.

El mismo Mortimer ha venido empleando sus perfiles conceptuales para hablar del diálogo en el salón de clases, en temas como “el átomo” (Mortimer, 1995), “la entropía” (Amaral y Mortimer, 2004) y “la vida” (Coutinho, Mortimer y El-Hani, 2007).

No obstante, no hay antecedentes del

empleo del modelo de perfil conceptual para “fotografiar” los propósitos epistemológicos de uno o varios profesores al impartir un determinado tema, cuestión que se ha desarrollado en esta investigación.

## 7.- Conclusiones

Uno de los aspectos requeridos para mejorar el proceso educativo de la ciencia en los países iberoamericanos es contar con el conocimiento básico de los mejores profesores. Una de las partes más importantes del Conocimiento Didáctico de la Química, o sea del conocimiento didáctico de tópicos específicos, es que 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.

En este artículo se ha hecho énfasis en que los profesores ejemplares poseen un CDC de una categoría superior al de los profesores novatos y que éstos podrían mejorar sus estrategias didácticas, sus analogías, ejemplos, simulaciones, etc. si conocieran los de profesores que les sirvan de ejemplo. Por lo tanto, el empleo de las ReCos de profesores exitosos para su discusión en talleres dedicados a la formación de profesores parece ser una primera conclusión interesante de este trabajo. En estos talleres se discutirían métodos en la enseñanza de los temas que se seleccionen, como puede ser el caso de la «cantidad de sustancia» y su unidad «mol». También se pueden utilizar para que los profesores en entrenamiento realicen un análisis crítico de la estructura y contenido, como lo propone Vicente Talanquer (2004).

La documentación del CDC puede ser útil en el proceso de formación de profesores ya que, a pesar de la insistencia de que el CDC se adquiere mayoritariamente como una expresión de la propia docencia, el emplear estas muestras de ejemplos de profesores distinguidos en los talleres formativos debe ser 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.

De esta manera el CDC recopilado a través de ReCos y de Inventarios puede emplearse para caracterizar la docencia exitosa, cuestión que hace mucha falta en las universidades, donde ya se cuenta con mecanismos más o menos generalizados para caracterizar la buena investigación (a través de los índices de impacto de las publicaciones). De esta manera, aunque no sabemos todavía la forma explícita de evaluar la docencia a partir de lo descrito por un profesor, convendría profundizar en los aspectos de la ReCo que permitirían valorar la docencia exitosa y diferenciarla de la no tan exitosa. De esta manera, podrá valorarse tanto la docencia experta, al igual que la investigación experta, para darles aproximadamente el mismo peso a ambas en las universidades.

Aunque quizás sea cierto lo que nos señala Shulman:

“Yo pienso ahora que la razón por la cual la enseñanza no está más valorada en la academia es por la manera como tratamos a la enseñanza, que la elimina de la comunidad de expertos. No es que las universidades disminuyan la importancia de la enseñanza porque devalúen en sí mismo el acto de enseñar. No es que la investigación sea vista con más valor intrínseco que la docencia. Más bien, celebramos aquellos aspectos de nuestras vidas y los trabajamos para que se vuelvan, como decimos en California, ‘propiedad de la comunidad’. Y si deseamos que la enseñanza posea mayores reconocimiento y recompensa, debemos de cambiar el estatus de la enseñanza de la propiedad privada a la comunitaria” (citado por Edgerton, 2004).

Por lo cual conviene que la docencia vaya siendo considerada como “propiedad de la comunidad” y ¿qué mejor manera de lograrlo que haciendo circular extensivamente el CDC documentado de nuestros mejores profesores?

Podemos concluir también que la combinación de los métodos de Loughran y Mortimer permite caracterizar los propósitos generales de un profesor determinado al abordar un tema específico, seleccionándolos entre la diversidad de enfoques epistemológicos que pueden delinarse a través de zonas de perfil conceptual.

Concluimos finalmente que hacen falta más estudios sobre el Conocimiento Didáctico de tópicos tales como: la ingeniería y la tecnología química, cambios físicos y químicos, modelos atómicos y moleculares, tabla periódica, enlace químico, ácidos y bases, óxido-reducción, cinética química y bioquímica, entre tantos otros.

## Notas.

1 El concepto «Conocimiento didáctico del contenido» fue introducido en España en las Universidades de Sevilla (Marcelo, 1993), Granada (Bolívar, 1993) y Extremadura (Mellado y Carracedo, 1993), como una adaptación del “Pedagogical Content Knowledge” de Shulman (1986) al significado de las didácticas específicas en el contexto español. Mellado y Carracedo mencionan: ‘el «conocimiento didáctico del contenido» es uno de los aspectos esenciales que debe conocer el profesor de ciencias. Este conocimiento didáctico del contenido sería distinto del conocimiento de la propia disciplina o del psicopedagógico general’. La tesis doctoral del mismo Mellado del año 1994 se titula “Análisis del conocimiento didáctico del contenido, en profesores de ciencias de primaria y secundaria en formación inicial”. Un par de años antes, Lorenzo Blanco (1991; P. 80) menciona este concepto como “Conocimiento de contenido pedagógico en Matemáticas”.

## Referencias Bibliográficas.

- ABELL, S. K. “Research on Science Teaching Knowledge”. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. (eds.) *Handbook of Research on Science Education*, 2007, chapter 36, p. 1105-1149) Erlbaum.
- AMARAL, E. M. R. y MORTIMER, E. F. “Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad. Una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de Química”, *Educación Química*, 2004, 15[3], P. 218-233.
- BACHELARD, G. *La philosophie du non*. Paris: Quadridge/PUF. Translated (1968), by G. C. Waterston as *The philosophy of No. A philosophy of the new scientific mind*, New York: The Orion Press, 1940. in. Traducido al español como (1968) *La filosofía del no: Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Buenos Aires: Amorrortu.
- BARNETT, J. y HODSON, D. “Pedagogical Context Knowledge: Toward a Fuller Understanding of What Good Science Teachers Know”, *Science Education*, 2001, n 85, p. 426-453.
- BAXTER, J. A. y LEDERMAN, N. G. (1999). “Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge”. En Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: the construct and its implications for science education*. 1999, p. 147-162. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- BLANCO, L. *Conocimiento y acción en la enseñanza de las matemáticas de profesores de E.G.B. y estudiantes para profesores*. Tesis para obtener el grado de doctor. Universidad de Extremadura. 1991.
- BLANCO, L., MELLADO, V. y RUÍZ, C. “Conocimiento didáctico del contenido en ciencias experimentales y matemáticas y formación del profesorado”. *Revista de Educación*, 1995, n 307, p. 427-446.
- BOLÍVAR BOTÍA, C. “Conocimiento didáctico del contenido y formación del profesorado: El programa de L. Shulman”, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 1993, n 16, p.113-124.
- CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica*, Argentina: AIQUE, 1991, 196 pp,
- COCHRAN, K. F., DERUITER, J. A. y KING, R. A. “Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation”, *Journal of Teacher Education*, 1993, n 44, p. 263-272.
- COUTINHO, F. A., MORTIMER, E. F. y EL-HANI, C. N. “Construção de um perfil para o con-

- ceito biológico de vida”. *Investigações em Ensino de Ciências* 2007, n 12(1). Se consultó por última ocasión el 27/03/2007 en la URL <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- EDGERTON, R. Introduction, in Shulman, L. S., *Teaching as Community property. Essays on Higher Education*, San Francisco, California, USA: Jossey-Bass. 2004.
- FURIÓ, C. “Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias”, *Enseñanza de las Ciencias*, 1994, 12(2), p.188-199.
- FURIÓ, C., AZCONA, R., GUIASOLA, J., y RATCLIFFE, M. “Difficulties in teaching the concepts ‘amount of substance’ and ‘mole’”, *International Journal of Science Education*, 2000, 22, p.1285-1304.
- GARRIZ, A., GASQUE, L., HERNÁNDEZ, G., y MARTÍNEZ, A. “El mol: un concepto evasivo. Una estrategia didáctica para enseñarlo”, *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2002, n 33, p. 99-109.
- GARRIZ, A., y TRINIDAD-VELASCO, R. “El conocimiento pedagógico del contenido”, *Educación Química*, 2004, 15(2), p. 98-102.
- GARRIZ, A., TRINIDAD-VELASCO, R. “El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de materia”. *Educación Química*, 2006, n 17 (extraord), p. 236-263.
- GARRIZ, A., y TRINIDAD-VELASCO, R. “La naturaleza corpuscular de materia y su conocimiento pedagógico”. En Juan Ignacio Pozo y Fernando Flores (editores) *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia*. 2007, capítulo 13, p. 217-236). Cátedra UNESCO de educación científica para América Latina y el Caribe. Madrid: Antonio Machado Libros, OREALC-UNESCO/Univ. de Alcalá..
- GARRIZ, A., PORRO, S., REMBADO, F. M. y TRINIDAD, R. “Latin-american teacher’s pedagogical knowledge of the particulate nature of matter”. *Journal of Science Education*, 2007, 8(2), p. 79-84.
- GARRIZ, A., PADILLA, K., PONCE DE LEÓN, A. M. REMBADO, F. M. “The Pedagogical Content Knowledge of Latin-American Chemistry Professors on the Magnitude «Amount of Substance» and Its Unit «Mole»”. (25 pages). *Proceedings of the NARST 2007 Conference*, New Orleans, USA, April 15th. Puede consultarse en [http://garriz.com/andoni\\_garriz\\_ruiz/documentos/Garriz-Padilla-Ponce-RembadoNARTS-2007.PDF](http://garriz.com/andoni_garriz_ruiz/documentos/Garriz-Padilla-Ponce-RembadoNARTS-2007.PDF)
- GEDDIS, A. N. “Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching”, *International Journal of Science Education*, 1993, 15(6), p. 673-683.
- GIL-PÉREZ, D. ¿Qué hemos de saber y de saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 1991, 9(1), p. 69-77.
- LOUGHRAN, J. J., BERRY, A., MULHALL, P., y GUNSTONE, R. F. *Attempting to capture and portray science teachers’ pedagogical content knowledge: Particle theory*. Melbourne: Monash University. 2001.
- 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*, 2004, 41(4), p. 370–391.

- LLORENS, J. A. "La concepción molecular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje". *Investigación en la Escuela*, 1988, n 4, p. 33-48.
- MAGNUSSON S., KRAJCIK, J., y BORKO, H. "Nature, sources, and development of the PCK for science teaching". In J. Gess-Newsome, and N. G. Lederman (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education*. Dordrecht: Kluwer.
- MARCELO, C. "Cómo conocen los profesores la materia que enseñan. Algunas contribuciones de la investigación sobre Conocimiento Didáctico del Contenido". En L. Montero y J. M. Vez (eds.): *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*. 1993. p. 151-186. Santiago: Tórculo.
- MCLEOD, D.B. "Research on affect in mathematics education: A reconceptualization". En D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of Research on mathematics Teaching and Learning* . 1992. p.575-598. New York: Macmillan.
- MELLADO, V., CARRACEDO, D. "Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de la ciencia", *Enseñanza de las Ciencias*, 1993. 11(3), p. 331-339.
- MELLADO, V. "Profesores de Ciencias en formación de Primaria y Secundaria. Concepciones y práctica del aula". *Enseñanza de las Ciencias*, 1996. 14(3), p. 289-302.
- MORTIMER, E. F. "Conceptual Change or Conceptual Profile Change?", *Science and Education*, 1995, 4, p. 267-285.
- MULHALL, P., BERRY, A., y LOUGHRAN, J. "Frameworks for representing science teachers' pedagogical content knowledge", *Asia Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. 2003, vol. 4, n 2, Artículo 2. Disponible en la siguiente URL [http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4\\_issue2/mulhall/index.htm#contents](http://www.ied.edu.hk/apfslt/v4_issue2/mulhall/index.htm#contents)
- NIETO-CALLEJA, E., GARRIZ, A., y REYES-CÁRDENAS, F. ¿Cuál es el conocimiento básico que los profesores necesitan para ser más efectivos en sus clases? El caso del concepto «Reacción química», 2008, por publicarse en *Tecné, Episteme y Didaxis*.
- 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*, 1995, p. 125-144. Open University Press: Philadelphia.
- PADILLA, K., and FURIÓ, C.. "The importance of history and philosophy of science in correcting distorted views of 'Amount of substance' and 'Mole' concepts in chemistry teaching", *Science & Education*., 2008, 17(4), P. 403-424.
- PADILLA, K., PONCE, A. M., REMBADO, F. M. y GARRIZ, A. "Undergraduate professors' PCK of «amount of substance»", Aceptado para su publicación en *International Journal of Science Education*, 2008, special issue on PCK.
- POSNER, G. L., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W., y GERTZOG, W. A. "Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change", *Science Education*, 1982, 66(2), p. 211-227.
- RAVIOLO, A., y GARRIZ, A. "Decálogos e inventarios", *Educación Química*, 2005, 16 (extraord), p. 106-110.

- REYES-C., F. y GARRIZ, A. "Conocimiento didáctico del concepto de «reacción química» en profesores universitarios mexicanos". *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 2006, 11(3), p. 1175-1205. Puede consultarse en <http://www.comie.org.mx/>
- SALAZAR, S. F. El conocimiento pedagógico del contenido como categoría de estudio de la formación docente. *Actualidades investigativas en educación* 2005, Vol. 5 No. 2.
- SHAW, GEORGE BERNARD. *Man and Superman*. London: Penguin Classics.1903.
- SHULMAN, L. S. "Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching", *Educational Researcher*, 1986, 15(2), p. 4-14.
- 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*. 1986. New York: Carnegie Corporation.
- SHULMAN, L. S. "Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform", *Harvard Educational Review*, 1987, 57(1), p. 1-22.
- SHULMAN, L. S. "Foreword". In Gess-Newsome, J., Lederman, N. G. (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. 1999, p. ix-xii, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- SHULMAN, L. S. "Toward a pedagogy of substance" en Shulman, L. S. (edited by P. Hutchings), *Teaching as Community Property. Essays on Higher Education*, 2004, San Francisco, California, USA: Jossey-Bass.
- SOLSONA, N., IZQUIERDO, M. y DE JONG, O. "Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change", *International Journal of Science Education*, 2003, 25 [1], p. 3-12.
- STRÖMDAHL, H. M. TULBERG, A., y LYBECK, L. "The qualitatively different conceptions of 1 mole", *International Journal of Science Education*, 1994, 16(1), p. 17-26.
- TALANQUER, V. "Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?", *Educación Química*, 2004, 15(1), p. 52-58.
- TOBIN, K., y FRASER, B. J. "What does it mean to be an exemplary science teacher?" *Journal of Research in Science Teaching*, 1990, n 27, p. 3-25.
- TOBIN, K. "Why do science teachers teach the way they do and how can they improve practice?" In Aubusson, P. J., Harrison, A. G. and Ritchie, S. M. (eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education*, 2006. The Netherlands: Springer, p.155-164.
- TRINIDAD-VELASCO, R. y GARRIZ, A. "Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia". *Educación Química*, 2003, 14[2], p. 72- 85.
- VAN DRIEL, J. H., VERLOOP, N., DE VOS, W. "Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge", *Journal of Research in Science Teaching*, 1998, 35(6), p. 673-695.