

El conocimiento didáctico del contenido en química: integración de las tramas de contenido histórico–epistemológicas con las tramas de contexto–aprendizaje¹

William Manuel Mora Penagos²

Diana Lineth Parga Lozano³

Artículo recibido: 30-09-2008 y aprobado: 27-11-2008.

Didactic knowledge of content in chemistry: integration of the content scope with historical and epistemological scope and context–learning scope

■ **Resumen:** Este artículo es una continuidad de trabajos anteriores relacionados con la necesidad de profesionalizar el diseño curricular en química (Mora y Parga, 2005), la construcción de tramas histórico–epistemológicas por niveles evolutivos (Mora y Parga, 2007) y la necesidad de construir un modelo investigativo sobre la formación permanente del profesorado de química (Parga, Mora y Martínez, 2007). Este documento muestra, primero, las diferencias entre la propuesta de Shulman (1986) y sus seguidores, con los planteamientos de Chevallard (1991) y el grupo *DIÉ* de la Universidad de Sevilla, acerca de los fundamentos que definen el Conocimiento Didáctico del Contenido, *cdc*; segundo, se propone una síntesis de las ideas fundamentales para la identificación de las Representaciones de Contenido, *ReCo*, y los Repertorios de Experiencia Profesional Didáctica, *ReEpd*, (Loughran, Berry y Mulhall, 2006) como herramientas de identificación del *cdc* del profesorado y de estrategias de desarrollo profesional didáctico; por último, se proponen algunos fundamentos conceptuales sobre cómo elaborar Tramas Didácticas, *TD*, como esenciales para el diseño de unidades didácticas de enseñanza–aprendizaje en química.

Palabras clave: Conocimiento didáctico del contenido, desarrollo profesional del profesorado de química, integración didáctica, tramas didácticas.

■ **Abstract:** This article is a continuity of previous works concerning with the needs emerging from the professionalization of Chemistry curricular design (Mora and Parga, 2005), the construction of historical and epistemological scope for evolutionary levels (Mora and Parga, 2007), and the construction of a research model focused on educational programs for pre service chemistry teachers (Parga, Mora, and Martínez, 2007). First, the authors show the differences among the proposal of Shulman (1986) and their supporters, the positions of Chevallard (1991) and positions of the *IE* group at Seville's University, regarding the foundations that define the Didactic Knowledge of Content, *cdc*. Second, they present a synthesis of fundamental ideas that will allow teachers the identification of those Representations of Content, *ReCo*, and those Repertoires of Didactic Professional Experience, *ReEpd*, (Loughran, Berry, and Mulhall, 2006) as tools for the identification of the faculty's *cdc* and the strategies for Professional Didactic Development. Finally, they state some conceptual foundations on how to propose the didactic scope, *DS*, as a basis for didactic units design regarding chemistry teaching and learning processes.

Key words: Didactic knowledge of content, chemistry teachers' professional development, didactic integration, didactic scope.

1 Este documento forma parte del marco construido en el proyecto: CIUP–DOU–025–07.

2 Profesor de planta (carrera) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Grupo *DIDAQUIM*. Correo electrónico: wmora@udistrital.edu.co

3 Profesora de planta del Departamento de química la Universidad Pedagógica Nacional. Grupo *ALTERNACIENCIAS*. Correo electrónico: dparga@pedagogica.edu.co

El Conocimiento Didáctico del Contenido, CDC, como objeto disciplinar de la práctica y desarrollo profesional del profesorado

El Conocimiento Pedagógico del Contenido (Pedagogical Content Knowledge, pck), llamado en el escenario iberoamericano Conocimiento Didáctico del Contenido, CDC, (Mellado, 1996, Bolívar, 2005, García y Garritz, 2006), como constructo y modelo, es comúnmente aceptado en el léxico educativo actual y ha venido mostrándose con gran potencial al introducir la importancia del conocimiento del contenido en los conocimientos necesarios para la enseñanza (Gess-Newsome, 1999) y en la inclusión de estándares de desarrollo profesional de los profesores de ciencias (Garritz y Trinidad-Velasco, 2004 y Veal, 2004), pese a que sus investigaciones han sido menos cohesivas en la comunidad internacional, debido a la multiplicidad de interpretaciones que en un comienzo presentaba, si se compara con su campo afín, llamado conocimiento de la materia a enseñar, (subject matter knowledge, smk) (Abell y Lederman, 2007), y que en este artículo denominaremos como Conocimiento Disciplinar del Contenido, CDC.

En general, y como lo plantean Loughran et al. (2006), al igual que le ha sucedido al término pedagogía, el CDC puede parecer no más que una simple jerga, sin embargo, ha permitido enlazar las actuales investigaciones que examinan la relación entre la enseñanza, el aprendizaje y el contenido de enseñanza, haciendo que el CDC no solamente haya adquirido un nuevo y significativo sentido, sino que también ha abierto la práctica profesional didáctica al escrutinio,

para reconocer las habilidades y conocimientos que utilizan los profesores cuando enseñan. El CDC ha contribuido a aclarar que la enseñanza es problemática y no está entendida suficientemente, que la formación del profesorado no ha sido muchas veces más que una colección de juegos de actividades para usar en el aula, que los profesores que reflexionan en equipo para entender su enseñanza contribuyen a su desarrollo profesional didáctico y mejoran su práctica al verse reflejados en las experiencias y visiones de otros maestros y que el conocimiento profesional del profesorado requiere un lenguaje especial para facilitar la buena expresión y comprensión de las ideas sobre lo que es enseñar y aprender.

CDC no es un simple rótulo que permite igualar a todos los profesores respecto a un contenido de enseñanza dado; es más bien el producto de un conocimiento práctico que es particular, individual e idiosincrático, debido a las diferencias influenciadas por sus conocimientos, creencias, el contexto y la experiencia de enseñanza. Puede ser igual (o similar) para algunos profesores y diferente para otros, pero es una piedra angular del conocimiento y desarrollo profesional del profesorado.

El CDC ha sido promovido particularmente desde el área de enseñanza de las ciencias, destacándose la necesidad de la integración de varios dominios del conocimiento en la enseñanza, la investigación, y la preparación del profesor (Parga, Mora y Martínez, 2007).

Algunos precedentes en didáctica de las ciencias naturales son los trabajos de los profesores Gil (1991) y Furió, et al. (1992), los cuales han destacado la necesidad de conocer bien la materia a

enseñar como conocimiento profundo de éste, enfatizando no sólo en una mejor formación en los actuales conocimientos científicos, sino también en los aspectos histórico-epistemológicos y sociales que permitieran tener mejores criterios de selección de contenidos para la enseñanza; también han destacado la necesidad de entender la formación del profesorado como un cambio didáctico del pensamiento docente de sentido común y la apropiación de una concepción teóricamente fundamentada de la enseñanza-aprendizaje de la disciplina, utilizando la investigación y la innovación en el aula. Sin embargo, estos precedentes, que son dignos de mención, no destacan explícitamente aspectos que tienen que ver con el conocimiento del contexto escolar y una clara diferenciación entre conocimiento científico, conocimiento cotidiano y conocimiento escolar, los cuales son una variable fundamental como lo mostraremos más adelante.

Desde los años ochenta, en el contexto angloamericano, Lee Shulman ha liderado la línea de investigación del PCK, que luego se ha transformado en un modelo teórico para entender la enseñanza de los contenidos, originando distintas aproximaciones en áreas generales del conocimiento escolar, como las ciencias naturales, las ciencias sociales, las artes, entre otras (Bolívar, 2005). En el medio francófono, desde los años noventa, este liderazgo lo ha sumido Yves Chevallard, particularmente en la didáctica de las matemáticas. En esta época también se destacan en el medio español los trabajos del grupo de los profesores Rafael Porlán y Eduardo García-Díaz, en didáctica de las ciencias naturales y sociales. Consideramos que estos tres grupos han influido decididamente en

nuestro medio el ámbito de la enseñanza y la formación del profesorado de ciencias, por lo que, sin pretender ser exhaustivos, presentamos en la Tabla 1 una síntesis de sus principales ideas y diferencias que permitan posteriormente establecer estrategias de identificación del CDC.

Mediante esta tabla es posible establecer la importancia que el CDC ha tenido en el reconocimiento de las didácticas de las disciplinas como campo disciplinar el ejercicio docente, el establecimiento de la enseñanza como profesión y la importancia que tiene la comunidad de pares docentes en la investigación e innovación sobre el diseño y la ejecución del currículo. También es posible concluir, siguiendo los trabajos de García-Díaz (1998), Porlán y Rivero (1998) y Martín del Pozo y Rivero (2001), que el CDC en general es un conocimiento de tipo práctico y profesionalizado del contenido y de su enseñanza-aprendizaje, que se contextualiza de manera disciplinar en las didácticas específicas, el cual es un conocimiento que se pretende que el profesorado construya tanto en ejercicio como en formación para que de esta manera les permita un desempeño y una intervención fundamentadas disciplinarmente, partiendo de una transformación-integración de diferentes tipos de conocimientos y saberes (académicos, creencias y principios de acción, rutinas y guiones de acción y teorías implícitas) en ocasiones desconectadas entre sí.

Por otro lado, estamos de acuerdo con la postura de García-Díaz (1998), Porlán y Rivero (1998) y Gess-Newsome (1999), en la cual el Conocimiento Didáctico del Contenido, CDC, es más un proceso de integración que de transformación o transposición (más de combinatoria

que de mixtura, como se diría en química) en el cual los conocimientos que se integran están acompañados cada uno de creencias docentes que conforman el conocimiento base de la enseñanza, aspecto que ha sido poco tenido en cuenta por los seguidores del PCK.

Si bien, al igual que Grossman, et al. (1990), Gess-Newsome (1999), Magnusson et al. (1999) y Marcelo (2005), estamos de acuerdo con que el conocimiento del profesor (para hacer enseñables los contenidos) debe sufrir una “transformación” de cuatro distintos conocimientos (el conocimiento del contenido, el conocimiento curricular, el conocimiento pedagógico y el conocimiento del contexto).

La diferencia que asumimos es que mientras estos autores entienden el CDC como un conocimiento más, adicional al conocimiento del contenido y al conocimiento pedagógico, aquí lo asumimos no como un componente a adicionar a los ya reconocidos, sino como el producto de una “combinación de un sistema integrado” de los conocimientos (disciplinarios, histórico-epistemológicos,

psicopedagógicos, y contextuales -ver Figura 1-, lo cual tiene necesariamente implicaciones directas en la formación del profesorado como en el tipo de diseños curriculares que se formulen.

El modelo de transformación también sigue de cerca patrones tradicionales de la preparación del profesor al separar, temporal y espacialmente, el contenido o materia a enseñar de lo pedagógico y las referencias del contexto, dejando que sea en la práctica y el ejercicio docente cuando cada uno en forma individual y en el aislamiento no reflexionado explícitamente, intenten algún tipo de integración. Un peligro potencial en este modelo es que los profesores podrían pasar por alto la importancia de la integración del conocimiento y continuar acentuando la importancia del contenido sobre lo pedagógico, dando como resultado modos de transmisión de la enseñanza con poco respeto para la estructura epistemológica del contenido, las referencias de los procesos de aula de clase o los factores del contexto.

Modelo

Proponentes

| Transformación didáctica | Transposición didáctica | Integración didáctica |
|--|--|--|
| Propuesta del Modelo de Traslación- Transformación Pedagógica, planteado por Lee Shulman (1986) y Wilson y Shulman (1987) de la Universidad de Stanford, Estados Unidos. | Modelo de Trasposición Didáctica, propuesta del matemático Yves Chevallard (1991) de la Universidad de Aix, Francia. | Modelo de Investigación en la Escuela (1991), planteado por el Grupo DIE, Didáctica e Investigación Escolar, de la Universidad de Sevilla, España, compuesto por los profesores de didáctica de las ciencias experimentales y sociales Rafael Porlán, Eduardo García-Díaz, Francisco García-Pérez, Ana Rivero y Rosa Martín del Pozo, en el marco del proyecto Ires (Investigación y Renovación Escolar) |

Tabla 1: Modelos teóricos para entender la enseñanza de los contenidos.

Modelo Fundamento

| Transformación didáctica | Transposición didáctica | Integración didáctica |
|---|--|--|
| <p>Se sustenta en la necesidad de un tipo de conocimiento docente autónomo, llamado conocimiento pedagógico del contenido o ПКК. Shulman (1987) lo propone como uno de los siete conocimientos bases para la enseñanza, colocándolo en igualdad con el conocimiento del contenido, el conocimiento pedagógico general, el conocimiento del plan de estudios, el conocimiento de los estudiantes, el conocimiento de contextos educativos y el conocimiento filosófico e histórico de la educación.</p> <p>El ПКК se asimila a un puente entre el significado del contenido curricular y la construcción realizada por los alumnos de ese significado (Marcelo, 2005).</p> | <p>El conocimiento científico no puede ser enseñado en forma directa, por lo que se requiere de una transposición que permita acercar el pensamiento del estudiante al conocimiento sabio (científico), lo cual es una actividad docente en el contexto de las didácticas. Este paso no es directo y requiere de una fase intermedia llamada "saber que hay que enseñar" (Astolfi, 2001). Así, el saber sabio es asunto de los investigadores, el saber que hay que enseñar ha sido objeto de autores de textos, programas y manuales (trasposición epistemológica: que transforma el saber científico en objeto de enseñar) y el saber enseñado (trasposición didáctica, propiamente, o transformación de un objeto a enseñar en objeto de enseñanza), que está en manos del profesorado.</p> | <p>La integración tiene como finalidad reconocer la existencia de saber escolar articulado a los conocimientos cotidiano y científico, desde el cual se pretende complejizar el pensamiento de los estudiantes y docentes hacia marcos deseables (en los cuales no se intenta sustituir el conocimiento cotidiano por el conocimiento científico) en un contexto disciplinar y profesional propio, como son las didácticas específicas (García-Díaz, 1998).</p> <p>Las didácticas son un saber integrador específico para la enseñanza-aprendizaje de las materias escolares que permiten la elaboración de hipótesis más o menos complejas de actuación profesional del profesorado. Pero, además, es un saber para la acción, y relevante para el desarrollo profesional del profesorado.</p> <p>La enseñanza es un trabajo intelectual y profesional serio que debe ser reconocido y que se debe sustentar en la innovación e investigación escolar.</p> <p>La docencia debe ser pública y no un quehacer irreflexivo y privado, es decir, debe ser sometida a crítica y revisión por los miembros de su propia comunidad y a razón de los intercambios que puedan hacer.</p> |

Modelo Requerimientos para la enseñanza

| Transformación didáctica | Transposición didáctica | Integración didáctica |
|--|--|---|
| <p>Son dimensiones necesarias para la enseñanza mediante la transformación (Grossman, Wilson y Shulman, 1989):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los conocimientos del contenido (conceptos centrales). - El conocimiento sustantivo (paradigmas). - El conocimiento sintáctico (introducción a la comunidad). - Las creencias docentes acerca de la materia que van a enseñar. | <p>Se requiere seguir una serie de reglas:</p> <p>Modernizar periódicamente los contenidos para acercarlos al nivel de los conocimientos eruditos universitarios.</p> <p>Necesidad de renovación curricular por parte del entorno educativo.</p> <p>Articulación entre lo nuevo que se pretende introducir, y lo antiguo que amerita conservarse.</p> <p>Aptitud de los contenidos para transformarse en ejercicios y actividades didácticas.</p> <p>Tener una respuesta contra posibles fracasos de la enseñanza de una idea.</p> | <p>- La enseñanza parte de organizadores curriculares o de programación de los denominados "ámbitos de investigación del alumno", en torno a problemas escolares de origen socio-ambiental que guían la selección de los contenidos en pro de lograr una transición-evolución del conocimiento de los estudiantes desde formas de pensamiento simples a otras más complejas. Se abordan problemas que deben ser significativos, interesantes, con potencial para los alumnos y funcionales desde el punto de vista de su aplicación social; relativos a la persona, a los grupos sociales próximos, a los seres vivos, a los materiales y artefactos y al medio socio-natural en general. Deben ser problemas relevantes para los ciudadanos y no los problemas relevantes a nivel científico, de manera que la ciencia queda al servicio de lo social.</p> <p>La investigación de estos problemas por parte de los estudiantes es de tipo formativo y no estrictamente científico. Las ideas de los alumnos se entienden como hipótesis de trabajo, con el fin de que a través de ellos se promuevan ideas que las pongan en cuestión por medio de la organización de equipos de investigación en la clase.</p> <p>La transición no debe entenderse como el rechazo de lo simple, sino como su incorporación-integración en lo complejo, situando la evolución de las ideas de los alumnos en un gradiente de complejidad, orientadas desde la elaboración docente de unas hipótesis de progresión, basadas en dicho gradiente, que funcionan como hilo conductor de la intervención educativa.</p> <p>- Los diferentes niveles de jerarquía permiten trabajar en la elaboración de tramas con dos dimensiones: La amplitud de trama, que es la dimensión horizontal referida al conjunto de conocimientos relacionados; y el nivel de jerarquía o relaciones verticales, referidas a que los contenidos escolares se organicen en torno a conceptos estructurantes, permitiendo que el máximo poder estructural corresponda a los conceptos metadisciplinares, como son las nociones de diversidad, interacción, sistema, cambio y reorganización permanente.</p> |

**Modelo
Docencia y desarrollo profesional docente**

| Transformación didáctica | Transposición didáctica | Integración didáctica |
|---|---|---|
| <p>- El profesorado, consciente o inconscientemente, reconstruye, adecua, reestructura o simplifica el contenido para hacerlo comprensible y significativo al estudiantado.</p> <p>- La práctica docente, como también su proceso de formación inicial y permanente, es proceso de razonamiento y acción pedagógica, en torno al conocimiento base de la enseñanza PCK. Es un acto de comprensión y razonamiento (de un conjunto de ideas que van a enseñarse: objetivos, estructuras de la materia, ideas dentro y fuera de la disciplina); de transformación (preparación crítica de textos, de segmentación de estructuras curriculares y clarificación de objetivos); de representación mediante analogías, metáforas, ejemplos demostraciones etc; selección de repertorios didácticos y modalidades de enseñanza; adaptación y ajuste a las características de los estudiantes, (considerando preconceptos, motivaciones, género, edad, cultura); de impartir enseñanza (manejo de disciplina, preguntas, descubrimiento, indagación); de evaluar (comprensión de los estudiantes, y su propio desempeño); y de reflexión (sobre nuestro desempeño y el de la clase) (Shulman, 1987).</p> | <p>- La docencia está centrada en seleccionar las ideas básicas a "transmitir"; reconocer las dificultades que deben ser superadas por los estudiantes; seleccionar los mejores ejercicios y actividades, que sean serios e interesantes a la vez, adaptándolos a los cánones escolares y a los tiempos y exigencias de evaluación.</p> | <p>El conocimiento de los profesores un conocimiento profesional de naturaleza práctica, epistemológicamente diferenciado y cuya construcción ha de ser gradual y progresiva (de lo deseable a lo deseable), tomando en consideración las concepciones y actuaciones de partida de los profesores, sus obstáculos y posibles hipótesis de progresión que faciliten su evolución. Por medio de la investigación de una serie de problemas prácticos y relevantes, los profesores aprenden a relacionar rutinas de clase, sus creencias y principios de actuación elaborados conscientemente y las teorías y conocimientos teóricos de las distintas disciplinas. Así, podrán mejorar sus modelos conceptuales y sus esquemas de acción (García-Pérez y Porlán, 2000).</p> <p>El conocimiento profesional docente dominante está yuxtapuesto por cuatro tipos de conocimientos metadisciplinarios a nivel racional y experiencial: los saberes académicos (conjunto de concepciones disciplinarias relativas a los contenidos del currículo); los saberes basados en la experiencia (que se manifiestan como creencias, impregnados de valoración moral e ideológica), las rutinas y guiones de acción (conjunto de esquemas tácticos que predicen el curso de los acontecimientos en el aula y lo integran conductas muy resistentes al cambio); y las teorías implícitas, que dan razón de las creencias y las acciones docentes (Porlán y Rivero, 1998).</p> <p>El conocimiento profesional deseable está íntimamente relacionado con un conjunto de teorías y prácticas, organizadas en torno a los problemas de la práctica profesional. Este conocimiento profesional deseable, como lo plantean Martín del Pozo y Rivero (2001) no es una formulación acabada y general de los contenidos profesionales, sino más bien una hipótesis de progresión profesional que tiene niveles de formulación progresivamente más complejos desde un nivel inicial, propio del modelo didáctico tradicional, hasta un nivel de referencia con planteamientos constructivistas e investigativos. Este conocimiento se construye en torno a los AIP, ámbitos de investigación profesional, que pretenden facilitar la construcción de un conocimiento profesionalizado sobre la enseñanza de los contenidos mediante procesos de investigación de los problemas profesionales y experimentación de alternativas curriculares y se pueden considerar como materiales curriculares para la formación del profesorado. Estos AIP se pueden resumir como: el conocimiento (materias escolares), las ideas de los alumnos, las finalidades, los contenidos, la metodología de enseñanza, la evaluación del aprendizaje y de la enseñanza.</p> |

Modelo Aportes y limitantes

| Transformación didáctica | Transposición didáctica | Integración didáctica |
|--|--|--|
| <p>Aportes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reconoce el <i>PKC</i> como el "paradigma perdido" de la investigación en educación. - Pretende reivindicar la enseñanza como profesión y las didácticas específicas como disciplinas con identidad epistemológica, desarrollando un conocimiento base para la enseñanza y la formación del profesorado. <p>Limitantes:</p> <p>Según Bolívar (2005):</p> <p>Internas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hay una centralización en los niveles educativos superiores, bachillerato y universidad. - No hay una distinción muy clara de los límites entre conocimiento del contenido y conocimiento curricular. - Se presenta como una metodología didáctica, más que como un modelo. <p>Externas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sus postulados se han convertido en estándares en la profesión docente, orientados a formar profesionales poseedores de un saber experto. - Reduccionismo del profesionalismo a las relaciones con el estudiante, olvidando aspectos más ideológicos y políticos de su intervención social, así como de su papel como investigador. - El desarrollo profesional se reduce al lograr un profesional centrado en competencias estandarizadas "con conocimiento". | <p>Aportes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contribuye en la creación de las didácticas específicas como ciencias autónomas. - Necesidad de transformar el conocimiento para poder enseñarlo. <p>Limitantes:</p> <p>Propuesta que, al igual que la propuesta de Shulman, persigue un exceso de profesionalismo para el profesorado, válido para la secundaria y la universidad, pero no en básica primaria (Bolívar, 2005).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Muy centrado en la didáctica de las matemáticas. - Se pretende llevar al estudiante al conocimiento de las ciencias como ideal de formación. | <p>Considera la renovación y el cambio en la escuela como un caso particular de un problema más amplio y general, como es el cambio social. Para esto, integra distintas perspectivas epistemológicas en una teoría de la práctica y para la práctica escolar, que intenta superar la rígida separación epistemológica entre ciencia, ideología y cotidianidad.</p> <p>Coordina estrechamente la investigación educativa, la experimentación curricular y el desarrollo profesional de los profesores implicados.</p> <p>Tres grandes perspectivas teóricas fundamentan el modelo de investigación en la escuela: una perspectiva compleja y sistémica de la realidad escolar (y, en último término, de la realidad en general); una perspectiva constructivista y evolucionista del conocimiento (a fin de cuentas del desarrollo humano) y una perspectiva crítica de la transformación de la escuela (en últimas del cambio social).</p> <p>La propuesta curricular general (relativa al currículum del alumno) en la que trabajan, denominada "Investigando nuestro mundo" y, en relación con el desarrollo profesional, la propuesta curricular "Investigando nuestra práctica".</p> <p>La tesis afirma que mediante la investigación de una serie de problemas prácticos y relevantes, los profesores pueden aprender a relacionar las rutinas de clase, las creencias y principios de actuación elaborados conscientemente y las teorías y los conocimientos teóricos de las distintas disciplinas; así podrán mejorar tanto sus modelos conceptuales como sus esquemas de acción. (García-Pérez y Porlán, 2000).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integra la educación básica (primaria) con la educación secundaria. |

Como se observa en la Figura 1, el CDC tiene un componente personal de cada docente que es crítico en su comportamiento y prácticas educativas, el cual estaría conformado por sus creencias y opiniones sobre qué es enseñar y aprender, y por sus experiencias prácticas personales, las cuales están basadas en sus experiencias tempranas como estudiante al ver a sus profesores enseñar. Estas opiniones e imágenes conforman un sistema de creencias con una función adaptativa, útil para comprender el desempeño docente (al planificar, seleccionar instrumentos cognitivos, y tomar decisiones) y desempeñan un papel crucial en la formación docente, ya que son difíciles de cambiar en la medida que son más antiguas (Morine-Dershvier y Kent, 1999 y Marcelo, 2005). Magnusson et al. (1999) consideran que las relaciones entre los conocimientos y creencias sobre la materia o contenido,

lo pedagógico del currículo, el contexto y lo pedagógico del contenido incluyen orientaciones para la enseñanza de las ciencias que determinan los siguientes conocimientos: a) del currículo de ciencias (metas y objetivos, y programas curriculares específicos en relación con los planteados en CHEM Study, CBA, Chem Com, Salters, Chemistry in Context, etc.) (Gabel, 1998); b) de las creencias y preconcepciones de los estudiantes sobre las ciencias (requerimientos para el aprendizaje, áreas de dificultad para el estudiantado); c) de la evaluación en ciencias (dimensiones del aprendizaje de las ciencias, y de los métodos con que se evalúa el aprendizaje de las ciencias) y d) de las estrategias instruccionales (para materias específicas en el caso de las ciencias, por ejemplo, basadas en el cambio conceptual, y estrategias para tópicos específicos usando modelos o analogías).

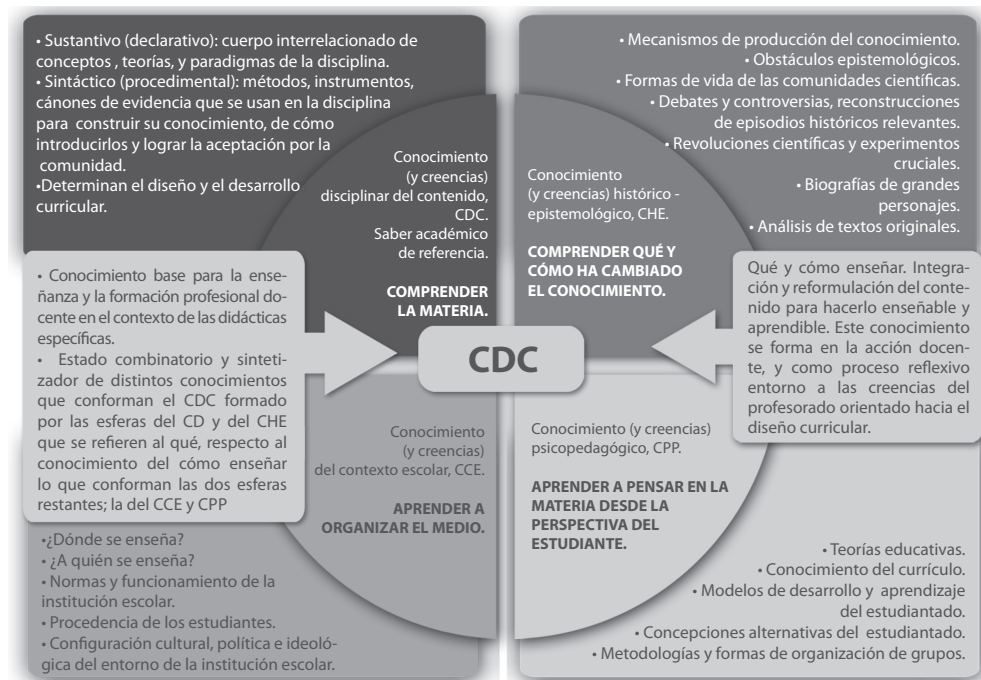


Figura 1: Integración de los tipos de conocimientos-creencias docentes para formar el CDC.

Al examinar la Figura 1, sobre la integración de los tipos de conocimientos-creencias docentes para formar el conocimiento didáctico del contenido, es posible que cada docente presente propuestas asimétricas en las cuales valore más unos conocimientos que otros y, como lo muestran Abell y Lederman (2007), son campos de relaciones poco investigadas. Por su formación o por sus intereses a la hora de diseñar curricularmente una unidad didáctica de enseñanza-aprendizaje es posible que un profesor no integre de igual manera y valoración los cuatro conocimientos-creencias, haciendo más énfasis en uno que otro, es decir, podemos encontrar casos en que, por ejemplo, el orden de importancia y cantidad de conocimientos sea: conocimiento del contenido > conocimiento histórico-epistemológico > conocimiento pedagógico > conocimiento del contexto. En otros casos podríamos tener: conocimiento pedagógico > conocimiento del contenido > conocimiento del contexto > conocimiento histórico-epistemológico. Esta integración refuerza la idea que no basta con “saber bien la materia” para enseñar profesionalmente un contenido, se requiere integrar otros conocimientos, pero los conocimientos-creencias y la preponderancia que den de uno de estos conocimientos sobre los otros determinará que el CDC resultante influya decididamente en el qué y cómo enseñar.

Se puede decir, como lo proponen a manera de hipótesis Magnusson, et al. (1999), que hay diferentes rutas o múltiples caminos para desarrollar el CDC para tópicos específicos de enseñanza, ya que se integran con mayor énfasis unos conocimientos que otros, por lo que es necesario que en la formación

docente: a) se le ayude a reflexionar sobre sus conocimientos y creencias preexistentes; b) concienciar sobre el CDC como un campo específico del dominio profesional docente, resultante de la integración de cuatro distintos conocimientos, haciendo énfasis en influencias de estos conocimientos-creencias, según el tópico a enseñar, como en su formación previa; c) la necesidad de situar las experiencias de aprendizaje en el entendimiento del contexto de enseñanza y d) que establecer un puente cognitivo entre lo que se pretende enseñar y lo que ya sabe el estudiante (lo cual es producto de sus preconcepciones) requiere un diseño de unidades didácticas para lo cual el CDC es fundamental.

En la formación docente, estos cuatro conocimientos-creencias no se deben introducir curricularmente de una manera fija como reglas o información o como simple suma de conocimientos, es decir, modelos como el tradicionalmente conocido “cachucha pedagógica”-en el que el conocimiento preponderante es el disciplinar con un agregado de pinceladas de los otros conocimientos - los cuales deben ser fuertemente criticados.

Por último, se puede decir que los maestros de ciencia no existen en estados fijos de los modelos transformativos o integrativos de una vez y para siempre, sino en un lugar en el transcurso del continuo entre los modelos integrador y transformativo, en el que no sólo su formación inicial, sino también su desarrollo profesional en algunos casos ha sido más suma-mixtura, que integración-combinatoria de los cuatro conocimientos-creencias analizados en la Figura 1.

Las Representaciones de Contenido, ReCo, y los Repertorios de Experiencia Profesional Didáctica, ReEpd, como instrumentos complementarios de determinación del cdc

Muchas investigaciones han mostrado que el cdc es un constructo complejo y no generalizable en sentido estricto, siendo decepcionante que los esfuerzos de las investigaciones todavía no hayan proporcionado descripciones detalladas de cdc de profesores individuales o grupales (Gess-Newsome y Lederman, 1999, Loughran, Berry y Mulhall, 2006), siendo una de sus causas que su reconocimiento se obtenga únicamente por medio del efecto acumulativo de ir reflexionando en torno a las construcciones historias narrativas sobre cómo el profesorado construye y enseña el contenido en unidades didácticas. Por consiguiente, no es fácil realizar su seguimiento, no sólo porque el desarrollo es gradual y ocurre en periodos extendidos de tiempo, sino por el poco conocimiento de instrumentos adecuados para la recolección de información que eviten llegar a reduccionismos y simplificaciones de la interacción del contenido y la didáctica.

También los anteriores autores han destacado que existen pocos ejemplos concretos de cdc en la literatura, lo que hace difícil que los profesores de ciencia tengan acceso a éste a manera de modelos significativos para mejorar su práctica. Por tanto, la misma noción de cdc sigue siendo algo evasiva y requiere un lenguaje compartido para tener acceso y apoyar las ideas fundamentales de modo que este concepto pueda ser entendido y valorado de mejor manera.

Loughran, Berry y Mulhall (2006), como resultado de entrevistas individuales y de grupo, talleres y observaciones con el profesorado de ciencias durante varios años, desarrollaron un portafolio de captura que representa los aspectos más importantes del cdc de maestros exitosos de ciencias. Este formato está conformado por *Content Representation*, CoRe, articulada con *Pedagogical and Professional-experience Repertoires*, PaP-eRs, que nosotros llamaremos: Representaciones de Contenido, ReCo, y Repertorios de Experiencia Profesional Didáctica, ReEpd. Estos instrumentos permiten comparar lo que los docentes conocen y creen acerca de los contenidos más importantes a enseñar y lo que ellos reflexionan en sus historias narrativas de lo hecho en las aulas de clase.

La ReCo proporciona una descripción de la manera en que un grupo dado de profesores conceptúa el contenido de un tema particular de enseñanza. La ReCo se desarrolla pidiendo a los profesores pensar sobre lo que consideran: las grandes ideas asociadas al contenido que van a enseñar, las cuales se refieren a las ideas de ciencia que los profesores ven como cruciales para que los estudiantes desarrollen su comprensión del contenido. Luego, se discuten y consensúan estas grandes ideas, refinándolas y colocándolas en columnas verticales de un cuadro o matriz, que más tarde, se cruzan con indicadores constructivistas fundamentales en la integración del cdc, como se ve en la Tabla 2, sobre la cual hemos hecho algunos ajustes siguiendo lo propuesto por Reyes y Garritz (2006) y Garritz (2007).

Por su parte, el ReEpd es una evaluación narrativa del cdc de un maestro que resalta un aspecto del contenido

de las ciencias que ha sido enseñado en relación con lo propuesto en la ReCo. En algunos casos, el ReEpd puede ser una construcción colectiva entre varios docentes, aunque lo mejor es presentarse de manera individual expresada en un diario del profesor. El ReEpd se redacta para desempaquetar los conocimientos

y creencias de un docente en torno a la práctica del aula y, en concreto, sobre un aspecto particular del contenido. Se piensa que el ReEpd representa lo que el docente está razonando acerca de sus acciones pedagógicas del contenido en las aulas.

| Representación del Contenido , ReCo | Ideas o conceptos más importantes a enseñar | | | | |
|---|---|----|----|----|----|
| | A: | B: | C: | D: | E: |
| ¿Qué intenta que aprendan sus estudiantes sobre esta idea? | | | | | |
| ¿Por qué es importante que los estudiantes sepan esto? | | | | | |
| ¿Qué cree que le faltaría saber a los estudiantes sobre esta idea? | | | | | |
| ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones asociadas con la enseñanza de esta idea? | | | | | |
| ¿Qué preconcepciones o ideas alternativas (errores conceptuales) tienen los estudiantes sobre esta idea y cómo influyen en la enseñanza? | | | | | |
| Otros factores que influyen en la enseñanza de esta idea. Por ejemplo, a nivel de normas y funcionamiento de la institución escolar, procedencia de los estudiantes, configuración cultural, política e ideológica del entorno de la institución escolar, del diseño curricular y del trabajo entre docentes. | | | | | |
| 7. ¿Qué procedimientos o estrategias de enseñanza emplea para que los estudiantes se comprometan con esta idea? | | | | | |
| 8. ¿Qué formas de comprobar (evaluación, coevaluación y autoevaluación) el entendimiento o confusión de los estudiantes acerca de esta idea utiliza? | | | | | |
| 9. ¿Qué conocimientos sobre historia y epistemología de esta idea conoce? Por ejemplo, mecanismos de producción del conocimiento, vida de las comunidades científicas, debates y controversias, reconstrucciones de episodios históricos relevantes, revoluciones científicas y experimentos cruciales, biografías de grandes personajes. | | | | | |

Tabla 2: Cómo identificar la Representación del Contenido de enseñanza.

Loughran, Berry, y Mulhall (2006) nos dicen que un ReEpd varía dependiendo de lo que se está representando, por ejemplo, algunos ReEpd son representaciones de la perspectiva de un estudiante; otros del maestro, algunos toman el formato de una entrevista; otros una observación del aula o el pensamiento inherente en un maestro que refleja la naturaleza problemática de un concepto dado, mientras otros resaltan preocupaciones sobre el plan de estudios. Como una consecuencia, el formato de un ReEpd es sensible al tipo de situación que está intentando retratar, algunos usan llamadas al margen para atraer la atención a casos específicos que podrían pasarse por alto y que son importantes para quienes lo redactan. La combinación de las ReCo y los ReEpd son un recurso de identificación y representación poderosa, accesible y útil del cdc que relacionan teoría y práctica y son una invitación al profesorado (en formación, en ejercicio, así como educadores de maestros de ciencias) a explicitar e identificar qué es lo que necesitan saber y pensar cuando enseñan un nuevo tema; por ejemplo, ¿qué grandes ideas se deben enseñar a un grupo particular de estudiantes? ¿Qué se debe esperar que los estudiantes aprendan? ¿Qué procedimientos de enseñanza ayudarán a un grupo de estudiantes entender una gran idea en particular? Por último, un Recurso de Folio no se piensa como un documento-syllabus del plan de estudios, aunque puede formar parte de la relación teoría-práctica del diseño microcurricular expresado en el Syllabus.

La formación del cdc en el profesorado en niveles o gradientes evolutivos de desarrollo profesional

Como vimos en el apartado anterior, la identificación del cdc del profesorado como proceso de explicitación de las ReCo y su contrastación con los ReEpd (que relacionan lo que se piensa que se debe enseñar con lo que se realiza en la práctica) han sido utilizadas como estrategias de desarrollo profesional del profesorado tanto en formación como en ejercicio. Sin embargo, no es la única herramienta de construcción del cdc. De Jong, Veal, y Van Driel (2003), fundamentados en los resultados de la literatura, sugieren que el cdc puede ser desarrollado por análisis de las experiencias de enseñanza en combinación con talleres específicos en procesos longitudinales con pocos docentes, aunque sean casi inexistentes las experiencias publicadas en este sentido. A partir de la anterior idea, estos autores han diseñado un curso (de características constructivistas) de desarrollo del profesorado de química en el cual se articula la formación en lo disciplinar (materia o disciplina de base = química) (*Subject Matter Knowledge*, SMK) y el cdc (*Pedagogical Content Knowledge*, PCK) de manera integrada en cinco etapas: a) discusión de sus experiencias tempranas como aprendiz y como profesores en formación, en temas o contenidos específicos de conocimiento; b) discusiones del conocimiento disciplinar de base desde la perspectiva pedagógica, usando artículos de la literatura de investigaciones educativas acerca de la enseñanza y el aprendizaje del tópico elegido; c) expresiones de intención de

enseñanza, discutiendo capítulos de libros de texto y preparando planes (unidades didácticas) de enseñanza de un tópico interesante; d) enseñanza del tópico elegido en contextos escolares específicos y e) reflexión sobre el conocimiento de base y del CBC por discusión de los reportes individuales de las lecciones dadas en torno a la unidad didáctica diseñada. Todo este proceso se lleva a cabo con discusiones ayudadas por mentores e investigadores.

De igual manera, el Proyecto Cero, liderado por David Perkins de la Escuela de Posgrado en Educación de la Universidad de Harvard, conocido como Enseñanza para la Comprensión, EpC, insiste en el desarrollo profesional del profesorado en la medida en que se

compromete con el aprendizaje para el desempeño flexible de competencias para pensar y actuar a partir de lo que saben los estudiantes. Cuatro preguntas centrales acerca de la Enseñanza conforman la propuesta: ¿qué tópicos vale la pena comprender? ¿Qué aspectos de esos tópicos deben ser comprendidos? ¿Cómo podemos promover la comprensión? Y ¿Cómo podemos averiguar lo que comprenden los estudiantes? (Stone, 1999), preguntas que se estructuran en cuatro dimensiones y sus rasgos: Para cada rasgo hay cuatro niveles de comprensión del estudiantado (Tabla 4), a saber: ingenua (nivel 1), principiante (nivel 2), aprendiz (nivel 3) y maestría (nivel 4).

| Contenido | Métodos | Propósitos | Formas de comunicación |
|---|---|---|---|
| A. Creencias Intuitivas transformadas. | A. Sano escepticismo. | A. Conciencia de los propósitos del conocimiento. | A. Buen manejo de los géneros de desempeño. |
| B. Redes conceptuales coherentes y ricas. | B. Construir conocimientos en el saber. | B. Usos del conocimiento. | B. Uso efectivo de sistemas de símbolos. |
| | C. Utilización de criterios para validar el conocimiento en el dominio. | C. Manejo y autonomía. | C. Consideración del público y el contexto. |

Tabla 3: Dimensiones y rasgos de la comprensión.

| | Comprensión ingenua | Comprensión de principiante | Comprensión de aprendiz | Comprensión de maestría |
|-------------------------------|-------------------------------|---|--|--|
| Desempeños arraigados | En conocimientos intuitivos. | Rituales de pruebas y de la escolarización. | Conocimiento disciplinario y modalidades de pensamiento. | Integradores, creativos y críticos. |
| Construcción del conocimiento | Como proceso no problemático. | Ideas con conexiones simples, de ensayo con procedimientos mecánicos paso a paso. | Algo complejo con procedimientos y criterios prototípicamente usados por expertos del dominio del saber. | Algo complejo impulsado a menudo por marcos y visiones que resultan de la argumentación pública de las comunidades de diversos dominios del saber. |

| | | | | |
|----------------------------------|---|---|--|--|
| Relación escuela y cotidianidad: | No ven la relación y no consideran los propósitos y usos del conocimiento. | Sirven para describir la naturaleza. | Los desempeños iluminan la relación entre conocimiento disciplinar y vida cotidiana, examinando sus consecuencias. | Se usa el conocimiento para reinterpretar el mundo que lo rodea. |
| Validación de los desempeños: | No muestran signos de dominio de lo que saben los alumnos. Desempeños no reflexivos en la comunicación con los demás. | Depende de la autoridad externa más que de criterios de racionalidad consensuada en la comunidad. | Expresión y comunicación flexible y adecuada al conocimiento. | Van más allá de demostrar la comprensión disciplinaria y muestran una conciencia crítica metadisciplinar e interdisciplinar. |

Tabla 4: Niveles de comprensión del estudiantado.

La Tabla 5 presenta una matriz de evaluación del diseño curricular mediante la Enseñanza para la Comprensión:

Evaluación del diseño curricular

| Dimensiones | Niveles | | | |
|--|--|--|--|---|
| | Comprensión ingenua | Comprensión de principiante | Comprensión de aprendiz | Comprensión de maestría |
| Hilos conductores: preguntas claras que guían la comprensión y son centrales en la disciplina. | No son preguntas o, si las hay, son cerradas. No son centrales y no están conectados con las demás dimensiones de la comprensión. | Algunas son preguntas, pero no son muy centrales y poco diferenciadas de las metas y desempeños. | Son preguntas claras, la mayoría abiertas, que se diferencian de las metas y los tópicos, pero que podrían expresarse mejor. | Claramente enmarcadas, abiertas y centrales de su disciplina, organizan la exploración de los tópicos y las metas. |
| Tópicos generativos: contenidos centrales de una disciplina. | No son del interés del profesor ni interesante para el estudiantado y no son temas centrales para la disciplina ni muestran una relación con los hilos y las metas de desempeño. | Son más o menos interesantes para el profesor, de alguna forma son centrales para la disciplina, pero se pueden expresar de forma más interesante para el estudiantado, parecen organizar los hilos y las metas. | Son interesantes para el profesor, son temas centrales para la disciplina y enganchan a los estudiantes; sin embargo; pueden expresarse con mayor claridad, pero pueden repetirse. | Son claramente la pasión del profesor, son conceptos centrales para la disciplina, enganchan fácilmente a los estudiantes, bien organizados para su exploración bajo los hilos y metas claras y unívocas. |

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| Metas de comprensión en cada tópico generativo. | Si existen no están claras, o son restringidas o muy amplias, difíciles de valorar. | Más o menos claras, pero no son un número manejable, demasiado rígidas o amplias para evaluar. | Están claras y no se repiten, aunque algunas se puedan condensar para evaluar mejor; ayudan a centrar los tópicos. | Muy claras y no se repiten en cantidad, fácilmente manejable para su evaluación. |
| Desempeños de comprensión: ciclos de acciones en los cuales los estudiantes hacen visible su pensamiento. | Son simples actividades inconexas que no le permiten al estudiantado fomentar la creatividad o hacer algo con ellas. Están enfocadas en la acción del profesor y no se conectan con las metas. | Actividades que no muestran el saber hacer del estudiantado a partir de sus conocimientos. Las actividades están centradas en el profesor, aunque muestren una secuencia lógica, no se conectan claramente con las metas. | Involucran a los estudiantes en hacer algo y pensar creativamente con sus conocimientos, pero algunos podrían estar mejor desarrollados, la mayoría se centra en la actividad de los estudiantes y se desarrollan en secuencias de investigación y síntesis. | Son claramente eventos en los cuales los estudiantes piensan creativamente con. Se centran en los estudiantes y están bien organizados en secuencias de exploración, investigación y síntesis. Están bien conectadas con sus metas. |
| Evaluación continua: ciclos de retroalimentación formal e informal en torno a los desempeños. | No hay un ciclo continuo de evaluación, sólo hay una evaluación final. No hay autoevaluación, no se usan formatos formales, ni informales. No hay criterios de calidad compartidos. | Hay algunas evaluaciones, pero están centradas en el profesor. No se presentan de forma que ayuden a los estudiantes a desarrollar su comprensión, es necesario realizar la autoevaluación y los instrumentos. No hay criterios de calidad públicamente compartidos que se relacionen con las dimensiones de la comprensión. | Organizadas en ciclos que parecen permitir a los estudiantes desarrollar la comprensión en el tiempo. Hay gran variedad de formas de autoevaluación y evaluación de pares con criterios públicos, pero deben relacionarse más con las demás dimensiones. | Organizadas claramente en ciclos de retroalimentación que le ayudan al estudiantado a desarrollar comprensión en el tiempo. Con excelente balance de formas de evaluación con autoevaluación, coevaluación y metaevaluación. Con instrumentos formales e informales y con criterios públicos de trabajo con calidad que relacionan distintas dimensiones. |

Tabla 5: Evaluación del diseño curricular.

Por su parte, el grupo DIE de la Universidad de Sevilla, en complemento a lo ya descrito en la Tabla 1 (Porlán, 2003), ha planteado la formación inicial y permanente del profesorado centrándose en problemas de enseñanza de los contenidos, que han denominado Ámbitos de Investigación Profesional, AIP, que permiten el desarrollo

del conocimiento profesional deseable a la manera de una hipótesis de evolución profesional (por niveles de formulación progresivamente más complejos, como se muestran en la Tabla 6, que es tomada de Martín del Pozo y Rivero (2001), y que evoluciona de un modelo didáctico tradicional a un modelo más constructivista e investigador.

| | Nivel de partida | Niveles intermedios | Nivel de referencia |
|---|---|---|--|
| | Visión cotidiana de la enseñanza y del papel del profesor. | Profesor técnico y espontaneísta, capaz de programar en secuencias cerradas de actividades basado en objetivos. | Conocimiento profesional transdisciplinar y práctico que se construye significativamente. |
| Conocimiento. ¿Qué sabemos sobre determinados tópicos del currículo escolar? | Visión enciclopédica. | Visiones compartimentalizadas y jerarquizadas. | Visión relativa, evolutiva e integradora. |
| Las ideas del alumnado. ¿Cuál es la naturaleza de las ideas del estudiantado? | Los estudiantes no tienen ideas o éstas no son relevantes para incorporar los conocimientos. | Las ideas del estudiantado se consideran errores que deben explicitarse y sustituirse. El alumnado aprende por descubrimiento espontáneo. | Las ideas del estudiantado como conocimiento alternativo con el que construyen nuevos significados. |
| Finalidades. ¿Cuál es el papel en la formación básica del estudiantado? | Adquirir conocimientos científicos. | Sustituir el conocimiento del estudiantado por el conocimiento científico. Desarrollar actitudes y procedimientos científicos. | Complejizar el conocimiento cotidiano del estudiantado. |
| Contenidos. ¿Qué formulaciones diferentes existen de los contenidos implicados? | Los contenidos como versión simplificada, reduccionista y enciclopédica de los conceptos disciplinares. | Los contenidos como transformación didáctica de procesos y productos disciplinares. Integración de conocimientos disciplinares y problemas socio-ambientales. Niveles de progresión entre lo cotidiano y lo científico. Expresión de los intereses y experiencias del estudiantado. | Integración de informaciones procedentes de fuentes diversas. |
| Metodología. ¿Cómo debería ser y qué debería orientar una secuencia de actividades? | Metodologías transmisivas (explicación más ilustración). | Metodologías duales basadas en la explicación más actividades (de aplicación, de verificación, de contraste, espontáneas). Metodologías inductivas. Metodologías activistas. | Metodologías basadas en la investigación del estudiantado a partir de problemas relevantes en el contexto escolar. |
| Evaluación. ¿Qué modelos de evaluación existen y en qué se fundamentan? | Evaluación como comprobación de la adquisición de conocimientos. | Evaluación por medio de la consecución de los objetivos. Evaluación como participación del estudiantado en la toma de decisiones sobre la vida en el aula. | Evaluación como proceso de seguimiento de la evolución real de los conceptos del estudiantado y de ajuste de la enseñanza. |

Tabla 6: Evolución de un modelo didáctico.

En el nivel de referencia (deseable) planteado en la Tabla 6, un docente, al diseñar curricularmente un contenido específico de enseñanza, debería saber y saber hacer: a) un análisis didáctico de diferentes fuentes de información; b) una trama de problemas y contenidos asociados, formulados en diferentes niveles de complejidad en una hipótesis de progresión del conocimiento; c) Una posible secuencia de actividades según una metodología constructivista e investigativa y d) mecanismos para el ajuste entre la hipótesis de progresión del conocimiento escolar y la evolución real de las concepciones de los alumnos.

La articulación de las tramas de contenido histórico-epistemológicas con las tramas de contexto-aprendizaje en el cdc en química

Garritz y Trinidad-Velazco (2004) han encontrado que los estudios sobre el cdc en química son relativamente pocos y, apoyados en la revisión de Abell (2007), nosotros podríamos aseverar que son más referidos al campo del Conocimiento Disciplinar del Contenido, cdc (*Subject Matter Knowledge*, SMK), que en el cdc. La mayoría de los trabajos se han hecho con profesores en formación y particularmente quienes trabajan en educación primaria o en grados séptimo a décimo. Las temáticas trabajadas han estado centradas en pocos temas: en teoría atómica-molecular se ha trabajado con gases destacando las relaciones sustancia-elemento, densidad-presión del aire, mezclas-compuestos, elementos-átomos, compuestos-moléculas, cambio-conservación de la materia; mol-cantidad de sustancia, reacción química, equilibrio químico; relaciones de lo macro y micro. Destacamos los

trabajos en cdc realizados por Loughran, Berry y Mulhall (2006) sobre teoría de partículas y reacciones químicas centrados en la realización de CoRe y PaP-eRS. Sin embargo, es fundamental decir que en campos como la química orgánica, la bioquímica o la química ambiental son inexistentes los trabajos investigativos sobre el cdc.

Atendiendo a estos campos poco explorados de la química y utilizando conceptos como el de trama conceptual y el de diseño, implementación y reflexión de contenidos didácticos (Mora y Parga, 2007), se establecen algunas orientaciones útiles para el desarrollo profesional didáctico. En nuestra propuesta intentamos hacer el análisis histórico-epistemológico-científico, con el fin de hacer una posterior integración con lo contextual-psicopedagógico en dos tramas o momentos distintos esenciales para el diseño del contenido.

En la medida en que se da la integración de estos conocimientos es posible plantearse los contenidos de enseñanza que no sólo permiten plantearse los programas de la asignatura a enseñar (Syllabus), sino que, como dice Novak (1977), pueden servir como puente cognitivo para relacionar lo que se quiere enseñar con lo que el estudiantado trae en sus preconcepciones e ideas previas y en el cual las tramas articuladas en cdc no son más que un encuentro de integración entre lo que los estudiantes ya saben y lo que los profesores intentan enseñar mediante una propuesta de contenido que combina lo disciplinar con lo psicopedagógico. A diferencia del planteamiento de Novak, en el cual el puente cognitivo es dado por medio de un único concepto estructurante (visión que consideramos en ese sentido un poco rígida), en nues-

tro caso el puente cognitivo no es un concepto estructurante, sino una trama flexible de conceptos, como lo sugiere Astolfi (2001). Las tramas de conceptos son flexibles, son una guía y no son para obligar al estudiante a hacer coincidir la ontogénesis con la filogénesis de los conocimientos. No se pretende establecer que las tramas sean dadas en forma lineal, pueden ser esféricas, en espiral; lo importante es que permiten pasar de un pensamiento simple del estudiante a uno más complejo, enriqueciendo su conocimiento.

Perspectivas de tramas conceptuales histórico-epistemológicas, como las que hemos planteado (Mora y Parga, 2007 y Parga y Martínez, 2007) o las presentadas por Martín del Pozo (1994), se dan en tres niveles de trama conceptual cada vez más complejas: nivel macroscópico, nivel asociado atómico-molecular y nivel cuántico, los cuales son concordantes con las tres revoluciones de la química que plantea Jensen (1998): composición molar, composición molecular-estructura, y composición eléctrica-estructura:

(molar-molecular-eléctrico) -Tabla 7- que son útiles a la hora de diseñar tramas didácticas integradoras.

Sin embargo, aunque estos análisis históricos-epistemológicos se han dado desde la mirada docente, no explicitan su relación con los desarrollos del pensamiento de los estudiantes de manera que nos permitieran la integración con lo contextual-psicopedagógico, por lo que creemos que si usáramos categorías en este último sentido, propuestas desde la EpC, se trabajarían en cuatro niveles del desempeño (competencias); o por ejemplo desde el trabajo de Shayer y Adey (1984), que utiliza niveles de desarrollo de pensamiento piagetianos, nos permitiría enfocarnos hacia visiones más integradas y consecuentes al CDC a la hora de diseñar propuestas curriculares dirigidas a la enseñanza. En ese sentido, una matriz combinada como se muestra en la Tabla 8, centrada en el concepto del cambio químico, (reacción química) podría ser una opción de desarrollo y experimentación futura a la hora de diseñar unidades didácticas en química.

| Estructura de la química | Dimensión de composición y estructura | Dimensión de energía | Dimensión de tiempo |
|--------------------------|---|--|--|
| Nivel molar | 1. Composición relativa de sustancias puras simples y compuestas, soluciones y mezclas. Designación empírica de alomorfos (estado, color, forma de cristal, etc.). | 4. Calorimetría, entropía y calor de formación. Energía libre y constante de equilibrio. | 7. Leyes experimentales de proporción. Parámetros experimentales de Arrhenius o entropías y calores de activación. |
| Nivel molecular | 2. Fórmulas absolutas y estructurales. Racionalización de alomorfos como variaciones en cualquier composición absoluta (los polímeros) o estructura (isómeros). | 5. Interpretación molecular de la entropía. Interpretación de calores de formación en términos de calores de atomización, promedios de energías de enlace, etc. Mecánicas moleculares. | 8. Mecanismos de reacción moleculares. Visión molecular de entropías de activación y complejos activados. |
| Nivel eléctrico | 3. Fórmulas electrónicas (estructuras de Lewis y configuración electrónica). Variaciones en la composición electrónica o nuclear (iones e isótopos) o estructura (estados excitados). | 6. Cálculos de energías basados en estructuras electrónicas. Interpretación de espectros. Cálculos de calores de atomización, entropías espectroscópicas, etc. | 9. Mecanismos de la reacción iónicos y fotoquímicos. Efectos isotópicos. Cálculo de energías de activación. Índices de reactividad electrónicos. |

Tabla 7: Revoluciones químicas planteadas por Jensen (1998).

Trama didáctica para el concepto de cambio químico

Niveles intermedios

Tramas

**Intermedio inicial
(cinético energético)**

Disciplinar-histórico-epistemológica (N)

Psicopedagógica- contextual (n)

Intermedio central (ecuaciones y conservación)

Proceso de transformación de una(s) sustancia(s) en otra(s) diferentes a las iniciales

N1.1. Las propiedades características dependen de la sustancia de la que se trate y no de la cantidad de la misma (masa, volumen).
Los materiales de los que están hechos los objetos se presentan en forma de especies o cuerpos químicos puros o mezclas.
Una especie química es un cuerpo simple cuando está formado por un solo elemento químico. Un cuerpo compuesto está formado por dos o más elementos químicos.

N1.2. En una combinación, las sustancias pierden sus propiedades características (se transforman en otras). Para averiguar si un material es una mezcla o una especie química pura, existen técnicas de separación de los componentes. Mediante ciclos de reacciones (por ejemplo: el ciclo del cobre o del azufre), podemos obtener una evidencia empírica de que los elementos se conservan en el transcurso de los cambios químicos.
El principio de conservación de la masa en los cambios químicos significa que la masa de las sustancias que reaccionan es igual a la masa de las sustancias que se obtienen como producto de la reacción (Lavoisier, 1789).

Intermedio superior (equilibrio químico)

N1.3. Cuando dos o más elementos se combinan para formar un compuesto determinado, lo hacen en una relación de masas entre ambos que es siempre la misma, independientemente de las cantidades iniciales (Ley de las Proporciones Constantes, Proust, 1799).
Si dos elementos se combinan para formar más de un compuesto diferente, entonces las cantidades de un elemento que se combinan con una cantidad del otro deben estar en relación de números enteros y sencillos (Ley de las Proporciones Múltiples, Dalton, 1803).

Las mismas cantidades relativas de dos elementos que se combinan entre sí, se combinarán también en la misma proporción con una cantidad fija de un tercer elemento (Ley de las Proporciones Equivalentes, Richter, 1792-1802).
Los volúmenes de gases que intervienen en una reacción química se encuentran siempre en una relación de números enteros y sencillos (Ley de los Volúmenes de Combinación, Gay-Lussac, 1808).

n1.a. El hielo se convierte en agua, el humo se convierte en vapor. Si una reacción tiene que calentarse es porque es débil.

n1.b. Se recuerdan las combinaciones químicas sin apreciar aún las reglas generales. Pueden usar las ecuaciones con letras para indicar una reacción directa.

n1.c. Los ácidos son opuestos a las bases, neutralizándose entre ellos. Las sustancias químicas con frecuencia producen calor cuando reaccionan.

N2.1. Un elemento químico está formado por átomos iguales. Un compuesto químico está formado por átomos diferentes. Los átomos, iguales o diferentes, pueden unirse para formar moléculas.

La masa atómica relativa representa el número de veces que la masa de un átomo es mayor que la masa de un átomo de hidrógeno, la cual se toma como unidad (actualmente la unidad de referencia es 1/12 veces la masa de un átomo de Carbono 12).

Los elementos se presentan mediante el símbolo del átomo correspondiente (que se representan por esferas distintas). Los compuestos se representan mediante fórmulas en las que aparecen los símbolos de los átomos que los forman y los subíndices, que indican el número de átomos de cada clase (fórmula molecular).

La teoría atómico-molecular es compatible con la teoría cinético-molecular sobre el comportamiento de los gases.

n2.a. Los cambios de estado son reversibles por cambios de calor y podrían ser sólidos, líquidos o gases, dependiendo del movimiento de sus partículas. Se comparan las energías de reacción midiendo el grado de calor que produce, el cual depende de la mayor atracción de las moléculas o átomos.

N2.2. La teoría atómico-molecular explica la ley de las proporciones constantes o definidas. Explica también la Ley de las Proporciones Múltiples. Para explicar la Ley de los Volúmenes de Combinación, es necesario considerar la Hipótesis de Avogadro.

Los químicos eligieron una unidad de cantidad de materia que les asegurara tomar cada vez el mismo número de átomos o moléculas de sustancias distintas. A esta cantidad se la llamó átomo-gramo, molécula-gramo o mol (término utilizado en la actualidad).

Un cambio químico se representa por una ecuación química que contiene los símbolos o fórmulas de los elementos o compuestos reaccionantes y de los productos de la reacción, separados por una flecha que indica la dirección del cambio (de los reactivos a los productos). Estas ecuaciones deben cumplir la Ley de Conservación de la Masa, por lo que se ajustan con los coeficientes estequiométricos.

n2.b. Pueden entender la conservación de los elementos en una reacción de intercambio. Comprende la relación entre las ecuaciones químicas y las reacciones. Se le dificulta usar las ecuaciones para calcular cantidades.

N2.3. Los átomos de los elementos se unen mediante enlaces químicos debidos a la atracción electrostática entre iones de signo opuesto o a la cooperación entre átomos semejantes.

Las uniones químicas entre los átomos de metales y no metales se dan como consecuencia de la atracción electrostática entre partículas de carga opuesta.

La teoría de atracción iónica fracasa para explicar cómo podrían combinarse los no metales entre sí.

La capacidad de combinación de un átomo se denomina valencia. En el caso de los compuestos iónicos, esta capacidad es el resultado del número de oxidación.

n2.c. Una reacción puede ir más lejos del resultado que se espera si se añade un exceso de cualquiera de las sustancias químicas. No todas las reacciones llegan al final del proceso. Algunas reacciones son reversibles.

Proceso de reorganización de los átomos de los elementos por el que se forma(n) otra(s) sustancia(s) diferentes a las iniciales

| | | |
|---|--|---|
| <p>N3.1. Durante las primeras décadas del siglo XX, los estudios sobre la conductividad eléctrica de los gases y metales confirmaron la relación materia–electricidad y se caracterizaron las primeras partículas subatómicas (electrón, protón y neutrón). El átomo es eléctricamente neutro. Un elemento químico está formado por átomos con el mismo número atómico. Los átomos de un elemento pueden diferenciarse en el número de neutrones.</p> <p>El átomo tiene una estructura que ha tratado de describirse durante el siglo XX mediante diferentes modelos atómicos.</p> <p>En la actualidad, el modelo atómico aceptado es el modelo cuántico, ya que explica más propiedades físicas y químicas que cualquier otra teoría. Los elementos químicos están ordenados en la Tabla Periódica. Las propiedades atómicas más importantes en el comportamiento químico son las relacionadas con la facilidad para perder o ganar electrones.</p> | <p>N3.2. Según la Teoría Electrónica del Enlace de Lewis y Kossel (1916), afirma que los átomos forman enlaces perdiendo, ganando o compartiendo –igual o desigualmente– sus electrones más externos para alcanzar una configuración más estable. La Teoría de Orbitales Moleculares completa, interpreta y corrige las ideas de enlace por pares de electrones de Lewis y explica las longitudes, ángulos y energías de enlace de las moléculas sencillas. Cuando dos átomos se aproximan, empiezan a ponerse de manifiesto interacciones entre núcleos y electrones. El metal se considera como una molécula gigante en la que los OM deslocalizados se forman a partir de todos los OA de todos los átomos en una banda de niveles de energía muy próximos entre sí.</p> <p>Los tipos de enlaces químicos (covalente, atracción iónica, de hidrógeno y de atracción de Van der Waals) son suficientes para explicar las interacciones atómicas y moleculares en los gases, líquidos y sólidos.</p> | <p>N3.3. Un cambio químico tiene lugar mediante un mecanismo de colisión entre las partículas de los reactivos, formándose enlaces que no estaban antes de la colisión. Generalmente, se precisa una energía de activación para debilitar los enlaces primitivos y permitir la formación de nuevos enlaces, es decir, de nuevas sustancias.</p> <p>La velocidad de una reacción puede aumentarse bien con la temperatura o bien con la concentración de los reactivos, añadiendo sustancias (catalizadores), que operan ofreciendo mecanismos de reacción alternativos con menor energía de activación o menores requisitos geométricos.</p> <p>El principio de reversibilidad microscópica (los requerimientos energéticos nunca son infinitos y la probabilidad de colisión nunca es cero, por ello existe, por lo menos, una probabilidad finita que cualquier reacción química sea reversible) indica que también se pueden producir las reacciones inversas y que sus velocidades están sometidas a los mismos requisitos que en las directas. El equilibrio se define como el estado dinámico que se alcanza cuando las velocidades de la reacción directa e inversa, se igualan (Ley de Acción de Masas). Una reacción que ocurre por sí misma (sin una energía adicional) se dice que es espontánea (no alcanza el equilibrio, es irreversible).</p> <p>n3.a. Uso deductivo de la teoría cinética como procesos en equilibrio en los que se ejercen fuerzas intermoleculares e interatómicas. Se usan diagramas que permiten inferir las relaciones de cantidades equimolares en relación con la energía. Descripciones en términos de vibración molecular en relación con la energía eléctrica.</p> <p>n3.b. Uso funcional de los símbolos químicos. Se pasa a la idealización de los hechos que se ajustan a una ecuación. Uso deductivo del concepto de mol para hacer cálculos de masa y volúmenes en una reacción. El equilibrio es dinámico y reversible, y en él se balancean las ecuaciones por el método del ion electrón.</p> <p>n3.c. Puede utilizar un modelo dinámico de choques moleculares o iónicos para explicar que la reacción siempre va en dos direcciones. Puede entender que al quitar una sustancia de uno de los lados de una ecuación puede hacer que el equilibrio se rompa y se dirija en otro sentido hasta lograr un nuevo equilibrio dinámico.</p> |
|---|--|---|

Tabla 8: Trama didáctica para el concepto de cambio químico.

Conclusiones

Referidas al conocimiento didáctico del contenido, se ha mostrado que este concepto:

- Ha permitido contribuir a entender la didáctica de las disciplinas como un campo disciplinar dedicado a la enseñanza de los contenidos.
- Permite procedimientos de formación inicial y permanente del profesorado que puede ser interpretado desde distintas visiones, como las de transformación, transposición e integración.
- No ha tenido los desarrollos en la investigación educativa, si se compara con el conocimiento sobre la disciplina.
- Está formado por la integración de conocimiento-creencias del profesorado relacionado con el conocimiento disciplinar, el conocimiento histórico epistemológico articulado, el conocimiento psicopedagógico y contextual. En esta relación, por lo general, dependiendo del origen de la formación y la experiencia en el aula, pueden preponderar unos sobre otros o estar ausentes uno o varios de ellos de forma explícita.

En relación con las formas de identificar el CDC:

- Existen, en primer lugar, algunas propuestas reconocidas que consisten en articular el diseño, la acción y la reflexión del profesorado como medio de evaluación y desarrollo profesional docente, por ejemplo, aquellas que articulan los Repertorios de Contenido, ReCo, con los Repertorios de Experiencia Profesional Didáctica, ReEpd, los cuales se preocupan por las distintas variables que afectarían el aprendizaje constructivista de los contenidos; en segundo lugar,

aquellas centradas en y preocupadas por la formación de competencias o desempeños del estudiante, EpC, para lo cual nos muestra gradientes de evolución de las ideas del estudiantado en cuatro niveles. Para ello, el profesorado diseña el currículo en torno a hilos conductores, tópicos generativos, metas de comprensión, desempeños de comprensión y evaluación continua, y, en tercer lugar, se presentan los Ámbitos de Investigación Profesional docente, AIP, mediante los cuales se muestran tres niveles de desarrollo profesional docente.

En relación con el diseño de tramas evolutivas del aprendizaje de los estudiantes en química general:

- Se proponen las tramas didácticas previas al diseño de unidades de enseñanza como un proceso de articulación de las tramas disciplinares e histórico-epistemológicas con tramas psicopedagógicas y contextuales con el fin de mejorar la relación enseñanza-aprendizaje en el estudiantado de química, mostrando un ejemplo concreto para el caso del concepto estructurante del cambio químico.

Para finalizar, podemos decir que hemos mostrado una panorámica general como marco conceptual de un campo disciplinar reciente, la cual puede contribuir al desarrollo profesional del ejercicio profesional docente en química con distintos indicadores explicitados desde los trabajos de varios grupos centrados en el desarrollo de distintos gradientes evolutivos de las ideas del estudiantado y profesorado, y que de igual manera nos permitirá elaborar fases de trabajo investigativo experimental.

Referencias bibliográficas

- Abell, S. y Lederman, N. (2007). *Handbook of research on science education*. Londres: Lawrence Erlbaum Associates.
- Astolfi, J. P. (2001). *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla, España: Diada Editora.
- Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. Profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2).
- Chevallard, I. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- De Jong, O., Veal, W. y Van Driel, J. (2003). Exploring chemistry teachers knowledge base. En J. Gilbert et al (2003), *Chemical education: towards research-based practice*. Secaucus, Nueva Jersey: Kluwer Academic Publishers.
- Furió, C., Gil, D., Pessoa de Carvalho, A. M. y Salcedo, L. (1992). La formación inicial del profesorado de educación secundaria: papel de las didácticas específicas. *Investigación en la Escuela*, 16, 7-21.
- Gabel, D. (1998). The complexity of chemistry and implications for teaching. En K. G. Tobin y B. J. Fraser (s. f.), *International handbook of science education* (pp. 233-248). Gran Bretaña: Kluwer Academic Publisher.
- García-Díaz, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Sevilla: Diada Editora.
- García-Pérez, F. y Porlán, R. (2000). El Proyecto Ires (Investigación y Renovación Escolar). *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 205. Extraído desde: <http://www.ub.es/geocrit/b3w-205.htm> (04 / 04 / 2008)
- García, A. y Garritz A. (2006). Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 111-124.
- Garritz, A. (2007). Análisis del conocimiento pedagógico del curso "Ciencia y Sociedad" a nivel universitario. *Revista Eureka*, 4(2), 226-246.
- Garritz, A. y Trinidad-Velasco, R. (2004). El conocimiento pedagógico del contenido. *Educación Química*, 15(2), 1-6.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation. En J. Gess-Newsome y N. Lederman (1999), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 3-17). Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.
- Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (eds.) (1999). *Examining pedagogical content knowledge. the construct and its implications for science education*. Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.
- Gil, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77.
- Grossman, P., Wilson, S. y Shulman, L. (1989). Teachers of substance: subject matter knowledge for teaching. En M. Reynolds (s. f.), *Knowledge base for the beginning teacher* (pp. 23-36). Oxford: Pergamon Press.
- Jensen, W. B. (1998). I. ¿Does Chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*. 6(75), 679-687.
- Kincheloe, J. L. (2001). *Hacia una revisión crítica del pensamiento docente*. Barcelona, España: Octaedro.

- Loughran, J., Berry, A. y Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Magnusson, S., Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome y N. Lederman (eds.) (1999), *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.
- Marcelo, C. (2005). La investigación sobre el conocimiento de los profesores y el proceso de aprender a enseñar. En A. Perafán y A. Adúriz-Bravo (comp.) (2005), *Pensamiento y conocimiento de los profesores. Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Martín del Pozo, R. (1994). *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de los conceptos disciplinares y didácticas de los estudiantes del Magisterio*. Tesis Doctoral Inédita. Universidad de Sevilla España.
- Martín del Pozo, R. y Rivero, A. (2001). Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en la educación secundaria: Los ámbitos de investigación profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 63-79.
- Mellado, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 289-302.
- Mora, W. y Parga, D. (2005). De las investigaciones en preconcepciones sobre mol y cantidad de sustancia, hacia el diseño curricular en química. *Educación y Pedagogía*, 43(XVII), 164-175.
- Mora, W. y Parga, D. (2007). Tramas histórico-epistemológicas en la evolución de la teoría estructural en química orgánica. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 21, 100-118.
- Morine-Dershvier, G. y Kent, T. (1999). The complex nature and sources of teachers pedagogical knowledge. En J. Gess-Newsome y N. Lederman (eds.) (1999), *Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education* (pp. 21-50). Países Bajos: Kluwer Academic Publishers.
- Novak, J. D. (1977). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Alianza Editorial.
- Parga, D. y Martínez, L. (2007). *Conocimiento didáctico del contenido curricular en química: una estrategia sustentada en el diseño de tramas conceptuales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional. Colombia.
- Parga, D., Mora, W. M. y Martínez, L. (2007). El conocimiento didáctico del contenido como programa de investigación: un contexto para la enseñanza de la química. En *TED*, número extra, 2007. *Tercer congreso internacional sobre formación de profesores de ciencias*, número extra, pág. Comunicación, 97. Bogotá.
- Perrenoud, P. (2004). *Desarrollar la práctica reflexiva en el oficio de enseñar: profesionalización y razón práctica*. Barcelona, España: Graó.
- Porlán, R. (2003). Principios para la formación del profesorado de secundaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*. 17 (1), 23-35.
- Porlán, R. y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla, España: Diada Editora.

- Reyes, F. y Garritz, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto "reacción química" en profesores universitarios mexicanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(31), 1175-1205.
- Shayer, M. y Adey, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea.
- Shulman, L. S. (1986). 'Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Stone, M. (1999). *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Barcelona: Paidós.
- Veal, W. (2004). Beliefs and knowledge in chemistry teacher development. *International Journal of Science Education*, 26(3), 329-351.
- Wilson, S. y Shulman, L. (1987). "150 ways" of knowing: representations of knowledge in teaching. En J. Calderhead (s. f.), *Exploring teacher thinking* (pp. 104-124). Eastbourne, Inglaterra.