

APRENDIENDO A ENSEÑAR QUÍMICA

• BORIS FERNANDO CANDELA RODRÍGUEZ Y ROBINSON VIAFARA ORTIZ •



Programa  Editorial

En el cuerpo de conocimientos de este texto se conceptualiza el constructo del Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de un tópico específico desde una perspectiva anglosajona. Adicionalmente, en éste se describe la forma como se puede capturar, documentar y representar el CPC de un profesor experimentado y ejemplar cuando planea y enseña el núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, a través de una metodología cualitativa e interpretativa a manera de estudio de caso, en donde se implementan instrumentos metodológicos como la CoRe y los PaP-eRs. Así, el contenido de los anteriores instrumentos retrata los procesos de razonamientos y acciones inteligentes del profesor durante el ciclo instruccional del núcleo en cuestión.

Asimismo, estos instrumentos son usados como materiales curriculares por los educadores de profesores en el marco de un programa de aprendiendo a enseñar química, el cual está direccionado por una perspectiva de “orientación reflexiva”, donde se le suministra a los futuros profesores la oportunidad de identificar y desarrollar su Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de la enseñanza de la química a partir de cuatro dimensiones de reflexión, a saber: (a) reflexionando acerca de la enseñanza llevada a cabo por profesores ejemplares a través de la CoRe y los PaP-eRs; (b) reflexionando sobre su propia enseñanza a partir de sus prácticas educativas; (c) reflexionando sobre sí mismo como aprendiz de ciencias por intermedio de actividades científicas; y (d) reflexionando sobre las opiniones de los expertos acerca de la enseñanza por medio de las lecturas propuestas en los cursos.



Aprendiendo a enseñar Química

*la CoRe y los PaP-eRs como instrumentos
para identificar y desarrollar el CPC*

E&P

Colección Educación y Pedagogía

BORIS FERNANDO CANDELA

Nació en la ciudad de Santiago de Cali, es profesor de la Universidad del Valle y en la Institución Educativa Eustaquio Palacios. Licenciado en Biología y Química de la Universidad Santiago de Cali, magister en Educación con énfasis en la Enseñanza de las Ciencias, Universidad del Valle. Ha participado en algunas investigaciones y publicado algunos artículos en el campo de la educación en ciencias.

ROBINSON VIAFARA ORTIZ

Nació en la ciudad de Santiago de Cali. Se desempeña como profesor asociado del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle, donde ha participado como investigador en diversas investigaciones en el campo de la enseñanza de las Ciencias Naturales. Es licenciado en Biología y Química; a nivel de postgrado obtuvo el título de especialista en la enseñanza de las Ciencias Naturales y magister en Educación con énfasis en Ciencias Naturales en la Universidad del Valle.

Boris Fernando Candela
Robinson Viafara Ortiz

Aprendiendo a enseñar Química

*la CoRe y los PaP-eRs como instrumentos
para identificar y desarrollar el CPC*

E&P

Colección Educación y Pedagogía

Candela, Boris Fernando

Aprendiendo a enseñar química : la CoRe y los PaP -eRs como instrumento para identificar y desarrollar el CPC / BorisFernando Candela, Robinson Viafara Ortiz.-- Cali : ProgramaEditorial Universidad del Valle, 2014.

208 páginas ; 24 cm.-- (Colección Libros de Investigación)

Incluye bibliografía.

1. Formación profesional de maestros 2.Capacitación docente

3. Prácticas de la enseñanza 4.Ciencias- Enseñanza secundaria

4. Química - Enseñanza secundaria 5.Laboratorios de química- Enseñanza secundaria

- Metodología I.Viafara Ortiz, Robinson, autor II. Tít. III. Serie.

371.1 cd 21 ed.

A1460147

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Universidad del Valle

Programa Editorial

Título: *Aprendiendo a enseñar química. La CoRe y los PaP-eRs como instrumentos para identificar y desarrollar el CPC*

Autores: Boris Fernando Candela Rodríguez y Robinson Viafara Ortiz

ISBN: 978-958-765-120-1

ISBN PDF: 978-958-765-475-2

DOI:

Colección: Educación y Pedagogía

Primera Edición Impresa Septiembre 2014

Edición Digital Julio 2017

Rector de la Universidad del Valle: Édgar Varela Barrios

Vicerrector de Investigaciones: Javier Medina Vásquez

Director del Programa Editorial: Francisco Ramírez Potes

© Universidad del Valle

© Boris Fernando Candela Rodríguez y Robinson Viafara Ortiz

Diseño de carátula: Programa Editorial

Diagramación: Hugo H. Ordóñez Nievas

Corrección de estilo: Luz Stella Grisales H.

Universidad del Valle

Ciudad Universitaria, Meléndez

A.A. 025360

Cali, Colombia

Teléfonos: (57) (2) 321 2227 - 339 2470

E-mail: programa.editorial@correounivalle.edu.co

Este libro, salvo las excepciones previstas por la Ley, no puede ser reproducido por ningún medio sin previa autorización escrita por la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros.

El autor es responsable del respeto a los derechos de autor del material contenido en la publicación (fotografías, ilustraciones, tablas, etc.), razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, Julio de 2017

PREFACIO

El cuerpo de conocimientos de este libro proviene de un proceso de investigación en el cual se capturó, documentó y representó el *conocimiento pedagógico del contenido* (CPC) de un maestro catalogado como experimentado y ejemplar por la comunidad educativa, en momentos en que este planeó y enseñó el núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia en décimo grado. De hecho, durante el ciclo instruccional (planeación, enseñanza y reflexión) llevó a cabo un proceso de toma de decisiones curriculares e instruccionales; para ello, representó y formuló el núcleo conceptual en cuestión haciendo uso de demostraciones, trabajos de laboratorio, analogías, metáforas, explicaciones, entre otros; además, implementó rutinas, estrategias y modelos de enseñanza fundados por el marco teórico del constructivismo sociocultural. Adicionalmente, durante esta toma de decisiones tuvo en cuenta los antecedentes culturales de los estudiantes y el contexto educativo.

Los anteriores elementos curriculares e instruccionales fueron materializados por el profesor ejemplar a través de la práctica educativa, que tuvo como propósito deliberado el ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades/limitaciones y concepciones alternativas acerca de la discontinuidad de la materia. De ahí que, para poder capturar, documentar y representar el CPC de este maestro, se utiliza una metodología cualitativa de perspectiva interpretativa a modo de estudio de caso, en el cual se implementaron dos tipos de instrumentos, en primer lugar, la subjetividad y la narrativa tanto del investigador como del sujeto investigado y, en segundo lugar, la CoRe y los PaP-eRs (Loughran, Gunstone, Berry, Milroy & Mulhall, 2000).

Otro factor a tener en cuenta a lo largo de este libro hace referencia al propósito que direccionó la investigación de la captura, documentación y representación del CPC, en el cual se declara que el contenido de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs deberá servir como material curricular dentro de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química desde una perspectiva por «orientación reflexiva». Desde luego, la implementación del contenido de estos instrumentos metodológicos les será de utilidad a los profesores en formación y en ejercicio para identificar y desarrollar su CPC sobre el tópico en consideración. Naturalmente, esta investigación pretendió que las próximas generaciones de profesores de química no tengan que estar reinventando la rueda del proceso de enseñanza-aprendizaje de la discontinuidad de la materia (Verloop, Van Driel, & Meijer, 2002).

En este sentido, las tareas centrales de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química, fundados en el marco teórico del constructo del CPC de maestros experimentados y ejemplares de una disciplina específica, y direccionados por una perspectiva de «orientación reflexiva», les brindarían las oportunidades tanto a los profesores en formación como en ejercicio de poner en interacción sinérgica los conocimientos, creencias y valores sobre la enseñanza que estos han adquirido reflexionando sobre las prácticas ejemplares llevadas a cabo por otros profesores, reflexionando sobre lo que dicen los investigadores acerca de la educación en ciencias, reflexionando sobre su propio actuar como aprendiz de ciencias a través de prácticas experimentales y reflexionado sobre su propio proceso de enseñanza en el campo de la experiencia.

Por consiguiente, las tareas centrales de los cuatro ámbitos de reflexión juegan un papel clave a lo largo del curso de Aprendiendo a Enseñar Química, dado que les permitirían a los profesores matriculados en este diferenciar, integrar e internalizar los elementos pertinentes del CPC de esta disciplina, además, desarrollar un saber práctico para la enseñanza ejemplar de los diferentes tópicos del currículo de la química coherente con los marcos teóricos de las actuales reformas en la educación en ciencias.

Finalmente, los anteriores presupuestos permiten la interacción bidireccional entre el contenido del tema de la materia y la pedagogía, aspectos que han sido abordados de manera disyunta en otras épocas a lo largo de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química. Así que, el constructo del CPC ayuda a superar la brecha entre estos dos elementos, generada por los antiguos programas de educación.

Ahora bien, este libro ha sido estructurado en tres capítulos. En el primero se aborda la conceptualización y desarrollo del CPC desde las perspecti-

vas de Shulman, Grossman y Magnusson, con la intención de contextualizar al lector en cuanto a la fuente de este constructo. El segundo desarrolla la génesis y significado de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs los cuales permiten la captura, documentación y representación del conocimiento pedagógico del contenido de un profesor ejemplar; adicionalmente, se explicita el cuerpo del CPC en forma de proposiciones dentro de la tabla de la CoRe y los relatos narrativos de los cinco PaP-eRs producidos en el estudio en cuestión. El tercero muestra cómo utilizar el contenido de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los cinco PaP-eRs como materiales curriculares dentro de un curso de Aprendiendo a Enseñar Química desde una perspectiva por «orientación reflexiva», en donde para leer los relatos narrativos verosímiles se hace uso de una herramienta de comprensión lectura llamada «hojas de reflexión» (Abell & Bryan, 1997).

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
--------------	----

CAPÍTULO 1 **CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO DEL CPC DESDE** **LAS PERSPECTIVAS DE SHULMAN, GROSSMAN Y MAGNUSSON** **23**

La génesis del constructo «conocimiento pedagógico del contenido» (CPC) desde la perspectiva de Shulman	23
Conceptualización y fuentes del CPC desde la perspectiva de Grossman	30
Conceptualización y elementos del CPC del profesor de ciencias desde la perspectiva de Magnusson	38

CAPÍTULO 2 **¿POR QUÉ ES DIFÍCIL APRENDER QUÍMICA** **EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA?** **47**

Los tres niveles de representación de la química	47
Los núcleos y esquemas conceptuales, factores relevantes para el aprendizaje de la química	52

CAPÍTULO 3
LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA, EJE
FUNDAMENTAL PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE
LOS TÓPICOS DEL CURRÍCULO DE LA QUÍMICA
57

La teoría corpuscular y la teoría cinética piedras angulares en la construcción de los tópicos de química	58
Principales concepciones alternativas acerca de la discontinuidad de la materia	61

CAPÍTULO 4
INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS QUE PERMITEN LA
CAPTURA, DOCUMENTACIÓN Y REPRESENTACIÓN DEL
CPC DE UN PROFESOR EJEMPLAR
75

La CoRe y los PaP-eRs como instrumentos metodológicos útiles para capturar, documentar y representar el CPC de un profesor ejemplar acerca de un tópico específico	76
Los PaP-eRs de un profesor ejemplar acerca de la discontinuidad de la materia	88
PaP-eR n.º 1: Una base de conocimiento para la enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia	89
PaP-eR n.º 2: Diferenciación e integración de los niveles de representación macroscópico y submicroscópico para darle sentido a los cambios de estado físico	103
PaP-eR n.º 3: Explicando la apariencia de las sustancias a partir del movimiento, interacción y arreglo de las partículas	118
PaP-eR n.º 4: Explicando los espacios vacíos entre las partículas a través del fenómeno de la disolución de sustancias	131
PaP-eR n.º 5: Cuando el cambio va más allá de la apariencia	143

CAPÍTULO 5
INTEGRANDO LA CORE Y LOS PAP-ERS A LOS PROGRA-
MAS DE EDUCACIÓN DE LOS FUTUROS PROFESORES DE
CIENCIAS
155

Reflexionando acerca de la enseñanza de la ciencia impartida por profesores experimentados y ejemplares	159
Reflexionando sobre sí mismo como aprendiz de ciencias vía actividades experimentales	162
Reflexionando sobre las opiniones de los expertos acerca de la enseñanza a través de la lectura de los artículos propuestos	163
Reflexionando sobre su propia enseñanza desde sus prácticas educativas	164
La influencia de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química en la formación de los futuros profesores	167
 ANEXOS	 171
BIBLIOGRAFÍA	199

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**



**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

INTRODUCCIÓN

El estado del arte ha permitido determinar que la educación científica tomó un valor social muy alto en la década del sesenta en el mundo occidental, gracias a que se concibió que esta era fundamental para el desarrollo tecnológico, económico y social; así que, en virtud de que los países socialistas ganaban la carrera espacial a los Estados Unidos, se promulgó la necesidad de transformar la manera y los momentos en que se daba la formación en ciencias a la ciudadanía. Esto generó reformas curriculares en los Estados Unidos que fueron trasladadas a los países latinoamericanos de manera prescriptiva, sin antes realizar el debido análisis de las mismas y las posibles consecuencias que traerían ante la débil formación del profesorado en ejercicio de estos países. En efecto, esta situación produjo resultados poco alentadores y elevó el desinterés por las ciencias en los estudiantes, al contrario de lo que se había presupuestado.

De hecho, la anterior situación no ha sido exclusiva del contexto colombiano, una muestra de este fenómeno es que en la década del ochenta en las sociedades occidentales se generó una insatisfacción con el conocimiento profesional y los resultados provenientes de las disciplinas prácticas –entre las que destacamos a la educación–, dado que estas no han podido resolver sus principales problemas a través de la aplicación vertical de programas prescriptos por los especialistas. En el caso de la educación, tanto los gobiernos como los profesores desconocieron la conceptualización del aula como un sistema complejo, vivo y cambiante en el que convergen diferentes elementos, donde el enseñante se enfrenta cada día a problemas de naturaleza eminentemente prácticos e imprevisibles para los cuales no

existe una solución predeterminada. De ahí que se resalte que estos acontecimientos han hecho surgir el interés por mejorar la enseñanza y el deseo de la profesionalización del «oficio» docente como una profesión práctica, del mismo estatus que la medicina, el derecho y la ingeniería (Schön, 1998).

Por consiguiente, la comunidad de investigadores del campo de la educación en ciencias, con el propósito deliberado de elevar a la educación al estatus de disciplina profesional práctica, en un primer momento se interesó porque los profesores alcanzaran un desarrollo profesional en la disciplina para la cual fueron acreditados (Shulman, 1986). Luego, a partir de las décadas del setenta y el ochenta, el núcleo de los programas de formación docente sufrió un cambio de perspectiva, focalizándose en la generación de oportunidades que les permitieran a los enseñantes potencializar la categoría del conocimiento de la pedagogía general; de hecho, esta categoría recoge básicamente las prácticas pedagógicas generales en el aula; vale la pena aclarar que esta perspectiva de desarrollo profesional descuidó al conocimiento del tema de la materia por varios años (Ball & McDiarmid, 1990). Posteriormente, al interior de la comunidad de educadores de profesores de ciencias se produjeron unas tensiones, las que a su vez permitieron que dentro de los colectivos de investigadores se abordara la discusión acerca de la importancia de tener en cuenta el conocimiento del tema de la materia en el diseño de los programas de educación de los profesores (Ball & McDiarmid, 1990; Magnusson, Krajcik & Borko, 1999; Shulman, 1986, 1987).

En este sentido, Shulman (1986), a través de su experiencia como evaluador de programas alternativos de educación y de formador de formadores, vio la necesidad de diseñar el constructo del (CPC) con la intención de desarrollar un nuevo marco teórico para la formación del profesor, que ayudaría a superar la dicotomía entre la pedagogía y el conocimiento del contenido de la materia, la cual se había desarrollado por medio de los programas de educación de los profesores hasta ese momento. Desde luego, él considera que los programas de educación deben de amalgamar estas dos categorías de la base del conocimiento para que los profesores puedan alcanzar un desarrollo profesional a lo largo de su vida que les permita a ellos llevar a cabo una práctica educativa ejemplar.

Por tanto, Shulman (1986) afirma que el «conocimiento pedagógico del contenido» (CPC) consiste en la comprensión que el profesor tiene de la manera de ayudar a los estudiantes a comprender un tópico de la materia; lo cual incluye el conocimiento de cómo los conceptos específicos de la materia, sus problemas y situaciones son organizados, representados, adaptados y ajustados en relación a los intereses y el desarrollo cognitivo de los aprendices, para posteriormente movilizarlos al aula a través del acto educativo.

Así pues, en este contexto de investigación de la enseñanza se han desarrollado diversos estudios que abordan la importancia del conocimiento pedagógico del contenido como un aspecto fundamental tanto para la enseñanza-aprendizaje de un tópico específico como para el desarrollo profesional de los profesores en formación y en ejercicio. Los problemas que estos estudios afrontan han sido representados en interrogantes tales como: ¿De dónde provienen las explicaciones que da el profesor de un tópico específico? ¿Cómo los profesores deciden qué enseñar y cómo lo representan? ¿Cómo interrogan a los estudiantes acerca del tópico a tratar? ¿Cómo los profesores ayudan a superar las dificultades/limitaciones con las que se enfrentan los estudiantes cuando abordan un tópico específico? ¿Cuál es el conocimiento que tiene el profesor de las concepciones alternativas que el estudiante moviliza al aula durante el aprendizaje de un tópico? (Shulman, 1986, 1987).

Es importante destacar que las siguientes instituciones: American Association for the Advancement for Science (AAAS, 1998); National Research Council (NRC, 1996); National Association for Research in Science Teaching (NARST) y National Science Teachers Association (NSTA, 1999), consideran el marco teórico del constructo del CPC como un elemento que juega un papel clave para lograr un cambio en la forma en que se viene enseñando y aprendiendo las ciencias naturales tanto en las escuelas como en las facultades de educación en ciencias, de ahí que estas hayan sugerido el diseño y la implementación de los «Estándares para la preparación del profesor de ciencias» (Standards for Science Teacher Preparation, 1999), tomando como núcleo fuerte dentro de su estructura lógica al CPC, gracias a que este permite la interacción bidireccional entre el contenido del tema de la materia y la pedagogía general, aspectos que han sido abordados de manera disyunta en otras épocas a lo largo de los programas de desarrollo profesional; por tanto, este constructo ayuda a superar la brecha entre estos dos elementos, generada por los antiguos programas de educación.

Tomando en cuenta los anteriores presupuestos, Anderson & Mitchener (1994) han sugerido que el marco teórico del CPC podría servir como una perspectiva alternativa desde la que los diseñadores de las políticas educativas estatales, administradores educativos y educadores de profesores de ciencias podrían diseñar, implementar y evaluar los programas de educación de aprendiendo a enseñar ciencias, tanto de los profesores en formación como en ejercicio. Vale la pena aclarar que en nuestro país la regulación de dichos programas es escasa (realizada por las universidades, entidades como el CNA y por medio de pruebas externas como la Saber Pro), generando duda sobre su sustento teórico, la articulación con los trabajos y los procesos

de investigación en el campo, es por esto que se sugiere el CPC como una alternativa valiosa para enfrentar esta importante necesidad educativa de los profesores.

En este sentido, en los últimos años la comunidad internacional de investigadores en educación en ciencias ha aumentado el interés por querer capturar, documentar y representar el CPC de un tópico específico de un profesor experimentado y ejemplar, con la intención de que este conocimiento sirva de referencia para mejorar los programas de educación de los educadores de profesores, enseñantes en formación y en servicio (Loughran et al., 2000), dado que los productos de estos estudios podrán ser utilizados como materiales curriculares a lo largo de los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias. De hecho, estos les brindarían la oportunidad a los estudiantes-profesores de observar episodios de clases reales, en donde las acciones inteligentes de los sujetos investigados serían objeto de reflexión que les permitirían a ellos problematizar su sistema de conocimiento, creencias y valores acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Abell & Bryan, 1997).

Asimismo, recientemente en el contexto hispanoparlante se vienen desarrollando estudios adscriptos a este tópico de investigación del campo de la educación en ciencias. Desde luego, estos se han fundamentado en el marco teórico de la didáctica de las ciencias, dando como producto teorizaciones, las cuales han llevado a proponer a los miembros de estos grupos de referencia el constructo denominado *conocimiento didáctico del contenido* (CDC). Por ejemplo, en Colombia, la disertación doctoral de Valbuena (2007) es una de las evidencias de la anterior asunción. Sin embargo, aunque se reconocen esta clase de perspectiva dentro de nuestra comunidad de práctica, se deja claro que este documento no hace parte de esta tendencia y que se ubica en la tradición angloamericana del CPC.

Por lo que se refiere a la metodología usada en los estudios de la captura, documentación y representación del CPC de profesores experimentados y «ejemplares» de ciencias, se puede afirmar que son similares e independientes al foco particular de la disciplina; así pues, la mayoría de los diseños de investigación son estudios de casos, en los que se ha manejado entre 1 y 20 integrantes. Adicionalmente, los instrumentos de indagación más utilizados en estas investigaciones son: cuestionarios, entrevistas, mapas conceptuales, observación participante, pensamiento en voz alta y la técnica de estímulo del recuerdo.

Vale la pena decir que a lo largo de las fases del ciclo instruccional investigado (planeación, enseñanza y reflexión) se implementan estas herramientas de recolección de datos con la intención de recoger información a través de

los registros de notas de audio y video, además de las transcripciones y relatos narrativos, que posteriormente serán interpretados y analizados, dando como producto final la explicitación de pensamientos, juicios, tomas de decisiones y acciones inteligentes llevadas a cabo por los sujetos investigados durante alguna de las fases en cuestión (De Jong, Veal & Van Driel, 2002).

Hay que tener en cuenta que la aplicación de los anteriores métodos para recoger los datos requiere de una alta inversión de tiempo, adicionalmente, el análisis de la información proveniente de estas fuentes es multifacético e intrincado, por estas razones la mayoría de estos estudios involucra un número pequeño de participantes; este aspecto puede ser considerado como una característica débil de esta clase de investigación; no obstante, muchos de estos estudios tienen un diseño naturalístico (Guba & Lincoln, 1982) que contribuye a darle una validez ecológica a los datos, lo cual puede ser visto, en cambio, como una característica fuerte.

Por ende, la comunidad de educadores de profesores de ciencias ha comenzado a considerar que las herramientas metodológicas de la CoRe y los PaP-eRs son, quizás, la mejor manera para capturar, documentar, representar y articular el CPC de un maestro experimentado y ejemplar, dado que la interacción bidireccional de estos dos elementos permite ver la coherencia entre el pensamiento y la práctica educativa del profesor. Ahora bien, en el cuerpo de este libro se explicitará el conocimiento de las representaciones y las estrategias de enseñanza utilizadas por un profesor de química catalogado como experimentado y ejemplar, con la intención de ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades/limitaciones y concepciones alternativas acerca de la discontinuidad de la materia. Para ello, se capturó, documentó y representó el CPC de este maestro acerca del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia desde una metodología cualitativa de perspectiva interpretativa, a modo de estudio de caso, en donde se implementaron dos tipos de instrumentos, en primer lugar, la subjetividad y la narrativa tanto del investigador como del sujeto investigado y, en segundo lugar, la CoRe y los PaP-eRs (Loughran et al., 2000).

De hecho, el estudio de caso reportado aquí le permitirá al lector obtener conocimiento sobre cómo un profesor de química ejemplar usa su conocimiento tácito del CPC (conocimiento de las representaciones de un tópico; conocimiento de las limitaciones/dificultades y concepciones alternativas, y conocimiento de las estrategias) para transformar el conocimiento disciplinar, con el propósito de que los estudiantes alcancen un mayor nivel de comprensión del tópico en consideración.

En efecto, los aspectos del CPC que se capturaron, documentaron y presentaron en este estudio, no son principios en un sentido universal, dado

que hacen referencia exclusivamente a un tópico particular y a un conjunto particular de estudiantes, es decir, estas estrategias de enseñanza le adicionan un único y valioso elemento a la base del conocimiento educativo del profesor. Empero, la investigación naturalística ha podido evidenciar que el carácter idiosincrático del CPC es superable, generando un conocimiento de naturaleza más general, por ejemplo, a través de la comparación de los resultados provenientes desde diferentes estudios de caso sobre las estrategias de enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia (Stake, 1999).

Adicionalmente, la captura, documentación y representación del CPC de un profesor de química experimentado y ejemplar acerca del núcleo conceptual del tema «discontinuidad de la materia» le suministraría a los programas de educación los diferentes elementos de la enseñanza del tópico de este tema; por ejemplo, muchos profesores novatos conocen bien el contenido de la materia, pero todavía no han aprendido cómo traducir ese conocimiento en unidades significativas para la enseñanza; por tal motivo es importante que los cursos de *Aprendiendo a Enseñar Química* se focalicen tanto en el estudio de las representaciones de este núcleo conceptual (ejemplos, analogías, laboratorios, demostraciones, estrategias de evaluación, etc.) a través de una planeación de la lección, como en su enseñanza en ambientes reales y en la reflexión sobre lo que ocurrió en ella, con la intención de que los profesores novatos y en ejercicio puedan ir identificando y desarrollando su CPC en cuanto al tópico en consideración, ya que estos escenarios les brindarán a ellos las oportunidades de articular la teoría con la práctica y el pensamiento con la acción.

De hecho, en el presente estudio se considera que el uso de modelos de CPC ejemplares como materiales curriculares de los cursos de *Aprendiendo a Enseñar Química* le brindarían las oportunidades al profesor no solo desarrollar el CPC en un único tópico, sino que muchos de los elementos de este serían transferidos a la E/A de los otros contenidos del currículo de la química (Veal & MaKinster, 1999).

Después de haber abordado algunos elementos que nos permitieron situarnos en el programa de investigación sobre el «Desarrollo del conocimiento en la enseñanza», cuyo foco de estudio es el conocimiento pedagógico del contenido, se tratará la génesis de este constructo. Para ello, se desarrolla la génesis del constructo CPC desde la perspectiva de Shulman, pasando por la de Grossman y finalizando con la del grupo de Magnusson y colaboradores, quienes adaptaron y ajustaron el marco teórico de sus predecesores al campo de la educación en ciencias.

**CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO
DEL CPC DESDE LAS PERSPECTIVAS DE
SHULMAN, GROSSMAN Y MAGNUSSON**

El constructo del conocimiento pedagógico del contenido (CPC) fue primero propuesto por Shulman (1986) y desarrollado conjuntamente con sus colegas y alumnos a través del proyecto «Desarrollo del conocimiento en la enseñanza», con el propósito deliberado de construir un modelo de perspectiva amplia que sirva de marco para comprender la enseñanza y el aprendizaje; adicionalmente, con esta categoría se pretende superar la brecha existente entre el conocimiento del contenido y la pedagogía.

Ahora bien, entre los colegas y discípulos de Shulman se destacan los siguientes: Pamela Grossman, quien trabajó en la conceptualización y desarrollo del CPC de profesores de inglés como primera lengua; así como Magnusson, Krajcik y Borko, quienes adaptaron y ajustaron los elementos del CPC formulados por Shulman y Grossman a la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En esta sección del libro se abordan las diferentes perspectivas de los anteriores investigadores.

**LA GÉNESIS DEL CONSTRUCTO «CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DEL CONTENIDO» (CPC)
DESDE LA PERSPECTIVA DE SHULMAN**

El constructo del CPC ha tenido diversos momentos en su consolidación; en este apartado se mencionarán algunos de ellos desde la postura de Lee Shulman (1986, 1987).

El conocimiento del profesor

En la década de los ochenta Shulman retomó como eje fundamental de la investigación el contenido específico de la materia a enseñar, a través de dos elementos fundamentales: una conferencia acerca del aprendizaje y la enseñanza, dictada en la Universidad de Texas, la cual tituló «El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza», cuyo tema central era el contenido de la materia y su interacción con la pedagogía, y un artículo titulado «Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching», en donde destaca la complejidad de la comprensión del profesor y la transmisión del conocimiento. En ellos Shulman generó unos primeros interrogantes, entre ellos: ¿Cuáles son las fuentes del conocimiento del profesor? ¿Qué saben los profesores y cuándo han llegado a conocer este conocimiento? ¿Cómo es el nuevo conocimiento adquirido y el viejo conocimiento recuperado, será que ambos se combinan para formar una base del conocimiento?

Ahora, las preguntas centrales de la investigación de Shulman (1986) hacen referencia a la transición del estudiante experto a profesor novato. Así, le surgen diversas preguntas: ¿Cómo los estudiantes exitosos que se convierten en profesores novatos transforman la comprensión de un tema específico de la disciplina, con la intención de que los estudiantes de la escuela lo puedan comprender? ¿Cuándo el profesor novato confronta los fallos de los textos escolares o, por el contrario, confunde a los estudiantes con ellos? ¿Cómo el profesor emplea la experticia del manejo del contenido para generar nuevas explicaciones, representaciones o clarificaciones?, ¿Cuáles son las fuentes de analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, etc.? ¿Cómo el profesor novato (o incluso el veterano) representa la comprensión que tiene del tópico específico a enseñar? ¿Qué precio pedagógico está pagando cuando la comprensión del tópico de la materia tiene deficiencias que vienen condicionadas por la educación que ha recibido el docente?

En cuanto a la cognición que posee el enseñante acerca de un tópico específico, el colectivo de investigación dirigido por Shulman abordó los siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los dominios y categorías del conocimiento contenidos en las mentes de los profesores? ¿Cómo, por ejemplo, está relacionado el conocimiento del contenido disciplinar y el conocimiento pedagógico general? ¿En qué formas están los dominios y categorías del conocimiento representados en la mente del profesor? ¿Cuáles son las mejores formas de elevar la adquisición y el desarrollo de tal conocimiento? Shulman, percibió estos interrogantes como el eje fundamental para la investigación de la educación del profesor; además, discutió algunas formas del pensamiento acerca de un dominio particular, como el conocimiento del contenido en la enseñanza y algunas de las categorías en él inscritas.

Así pues, Shulman (1986) estudió a profesores novatos, a través de una metodología de perspectiva interpretativa (estudios de caso), utilizando instrumentos de registro de datos, tales como: la observación de las clases, la entrevista, la discusión de los relatos con los profesores, la observación de los materiales relacionados con los contenidos específicos a enseñar; además de recolectar datos a cerca del el programa de educación en que los profesores fueron preparados y sobre impacto de la preparación de las experiencias formales e informales sobre la pedagogía.

Después de haber estudiado a los profesores novatos, construyó unas generalizaciones naturalísticas (Guba & Lincon, 1982), en donde afirma que, para ubicar el conocimiento que crece en las mentes de los profesores con especial énfasis en un tópico específico, habría que definir el constructo de «conocimiento del contenido del profesor», el cual tendría tres categorías, a saber: (a) el *conocimiento del contenido* del tema de la materia, (b) el *conocimiento curricular* y (c) el *conocimiento pedagógico del contenido* (CPC).

En primer lugar, (a) el conocimiento del contenido se refiere a la cantidad y organización del conocimiento *per se* (lo sustantivo y lo sintáctico de la disciplina) en la mente del profesor. Es decir, esto requiere comprender las estructuras del tema de la disciplina de la manera en que la definió el investigador Josep Schwab (1971). Para Schwab, la organización de la disciplina incluye las estructuras sustantivas y sintácticas de la misma, siendo las estructuras sustantivas la variedad de formas en que los conceptos básicos y principios de la disciplina son organizadas para incorporar nuevos hechos, mientras las estructuras sintácticas son el conjunto de formas en que la verdad o la falsedad, la validez o la invalidez son establecidas.

Con respecto a la segunda categoría, (b) el conocimiento curricular, es aquel que le permite al maestro diseñar y desarrollar un completo rango de programas para la enseñanza de temas particulares y tópicos específicos, para cierto nivel de escolaridad, además de la variedad de materiales instruccionales disponibles en relación a esos programas, y el conjunto de características que le sirven, ya sea como indicaciones o contraindicaciones para el uso del currículo particular, así como a manera de materiales del programa en circunstancias singulares.

Shulman (1986) conceptualiza el currículo como la materia médica de la pedagogía, es decir, es la farmacia desde la que el profesor representa esas herramientas de enseñanza que presentan o ejemplifican el contenido particular, remedian y evalúan el adecuado logro del estudiante.

Adicionalmente, el conocimiento de los materiales alternativos del currículo para desarrollar un tema o tópico específico dentro de un grado, debe presentar una coherencia con dos aspectos del conocimiento curricular aquí

descritos: (a) un profesor que haya alcanzado su madurez profesional debe estar familiarizado con los materiales del currículo, de hecho, le corresponde ser consciente de que estos se pueden utilizar al mismo tiempo durante el desarrollo de otro tópico por parte de los estudiantes; así, este conocimiento del currículo lateral resalta la capacidad del profesor para relacionar el contenido dado en un curso o lección con los temas que están siendo tratados de forma simultánea en otras clases; y (b) el conocimiento del currículo vertical está relacionada con los temas que han sido y serán enseñados en la misma área durante la escolaridad y los materiales que los encarnan.

Se debe destacar que, de las tres categorías del conocimiento del profesor, la que más atención ha recibido tanto a nivel de la investigación como de la práctica áulica es la del conocimiento pedagógico del contenido. Lee Shulman (1987) conceptualizó este constructo como «el conocimiento que va más allá del tema de la materia *per se* a la dimensión del conocimiento del tema de la materia para enseñar» (p. 9).

Para Shulman (2001), el CPC representa «la mezcla entre el contenido y la pedagogía por la que se llega a una comprensión de cómo determinados temas y problemas se organizan, se representan y se adaptan a los diversos intereses de los aprendices, y se exponen para la enseñanza» (p. 175).

Por tanto, dentro de la tercera categoría, (c) conocimiento pedagógico del contenido, Shulman (1986) incluyó la mayor parte de tópicos enseñados de una asignatura, las formas más útiles de representar estas ideas, el mayor poder de analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones; en una palabra, las formas de representar y formular un tópico específico para hacerlo comprensibles para otros; desde luego, no existe una única forma poderosa de representación, el profesor debe de tener un verdadero armamento de formas alternativas de representación; así pues, algunas de estas formas se han derivado de la investigación, mientras otras provienen de la sabiduría práctica.

La base del conocimiento para la enseñanza

En cuanto a uno de los artículos de mayor importancia para el colectivo de investigadores-educadores de habla hispana, «Conocimiento y enseñanza», se puede afirmar que en este el profesor Shulman (1987) transforma el constructo del conocimiento del contenido del profesor en la *base del conocimiento para la enseñanza*, necesaria para que el enseñante se desempeñe con «eficacia» en el acto educativo. Además, resalta cuáles son las fuentes del saber académico y de la experiencia de donde los profesores extraen su comprensión sobre la enseñanza.

Para Shulman (1987) la «base del conocimiento para la enseñanza» debe de tener siete categorías, a saber: (1) conocimiento de la materia impartida; (2) conocimientos pedagógicos generales; (3) conocimiento del currículo; (4) «conocimiento pedagógico del contenido»; (5) conocimiento de los educandos y sus características; (6) conocimientos de los contextos educacionales, y (7) conocimiento de los objetivos, las finalidades y los valores educacionales, y de sus fundamentos filosóficos e históricos.

Por lo que se refiere a las fuentes de los saberes profesionales del enseñante, que le permiten tomar decisiones curriculares e instruccionales para poder realizar el acto educativo, Shulman consideró cuatro: (1) la formación académica en la disciplina a enseñar; (2) los materiales y el entorno del proceso educativo institucionalizado; (3) la investigación sobre la escolarización, y (4) la sabiduría que otorga la práctica misma.

Ahora bien, en la siguiente sección se desarrollan los elementos que juegan un papel crítico en la constitución del CPC de un maestro cuando planea, enseña y reflexiona sobre los resultados de la planeación de un tópico específico y su enseñanza a estudiantes de un contexto particular.

El conocimiento pedagógico del contenido (CPC)

El CPC es quizás la categoría del constructo de la base del conocimiento para la enseñanza que, en los actuales momentos, ha sido asumido por los investigadores en educación como un paradigma (Kuhn, 1970), con su propia ciencia normal y problemas. De ahí que tanto los investigadores como los formadores de formadores se hayan focalizado en la conceptualización de este constructo con la intención de generar estrategias de investigación e instrumentos que permitan capturar, documentar, representar y articular el CPC de profesores que ejecutan unas prácticas ejemplares en donde se abordan los contenidos de las disciplinas. Vale destacar que este constructo tiene sus orígenes en los marcos teóricos de Dewey (2004), en los que él afirmaba que, para enseñar un tópico específico a un grupo de estudiantes, lo primero que debería realizar el enseñante era psicoanalizar el contenido de la materia.

Asimismo, Shulman (1986) conceptualizó el CPC como un sistema iterativo en el que se afectan mutuamente los siguientes elementos: formas de representar y formular los tópicos específicos para hacerlos comprensibles a los estudiantes; conocimientos de las dificultades y concepciones alternativas de los estudiantes, y conocimientos de las estrategias de enseñanza para ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades.

Ahora, se puede proceder a conceptualizar las formas de representar y formular un tópico específico como un conjunto de instrumentos representacionales que el enseñante ha construido a través de la reflexión en la ac-

ción y de la reflexión sobre la acción, durante las fases preactiva, interactiva y postactiva del acto educativo, con la intención deliberada de volver un tópico específico accesible a los estudiantes. Así pues, el maestro a través de la planeación, enseñanza y reflexión de un contenido específico, diseña las siguientes representaciones a utilizar durante el proceso de enseñanza-aprendizaje: analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones, modelos analógicos, laboratorios y demostraciones. Debe destacarse que algunas de estas representaciones provienen de la literatura generada de las investigaciones sobre la enseñanza de la ciencia, en tanto que otras se han producido desde la sabiduría práctica.

Por lo que se refiere a las limitaciones/dificultades y concepciones alternativas de los estudiantes, consideramos que estas incluyen la comprensión de qué puede hacer fácil o difícil el aprendizaje de un tópico específico, además de los modelos intuitivos que los estudiantes de diferentes edades activan y movilizan durante el aprendizaje de la mayoría de los tópicos enseñados. En efecto, el estudio de las concepciones del estudiante y sus influencias en la planeación, enseñanza y aprendizaje de un contenido específico han sido los temas más fértiles de la investigación cognitiva focalizada en el estudiante (Shulman, 1986).

Finalmente, el tercer elemento del CPC se refiere al repertorio de estrategias instruccionales diseñadas por el docente a través de procesos de planeación, enseñanza y reflexión, con el propósito de ayudar a los aprendices a superar sus limitaciones/dificultades en el aprendizaje de un tópico específico, de hecho, estas estrategias le permiten al aprendiz construir modelos más elaborados y así darle sentido a los diferentes fenómenos naturales y físicos del mundo de la vida; vale decir que estos instrumentos de aprendizaje, al igual que las representaciones, puede provenir tanto de la literatura como de la sabiduría práctica (Shulman, 1986).

La próxima sección abordará la forma en que un profesor novato se transforma en experto a través de la identificación y desarrollo de su CPC. Adicionalmente, se tratarán los elementos claves del modelo de razonamiento y acciones inteligentes de los profesores.

El cambio de un profesor novato a experto a través de la modificación de su CPC

Shulman con sus colaboradores, a través de estudios de caso longitudinales realizados a lo largo de tres años, estuvo investigando tanto a profesores en servicio eficientes como a profesores novatos; así pues, observó cómo los profesores novicios evolucionaban hacia profesores expertos. Adicionalmente, evidenció cómo el aprendiz de profesor invierte todo sus recursos

cognitivos para comprender el tópico que desarrollará con los estudiantes; en cambio el profesor experto, que ya comprende lo sustantivo y sintáctico de la disciplina, dedica el recurso cognitivo para reflexionar iterativamente sobre aspectos como el contenido del tema, las metas y los objetivos a alcanzar, los requerimientos para aprender el tópico, las concepciones alternativas de los estudiantes, las estrategias generales para enseñar el tópico, las mejores representaciones y actividades para enseñar el tema, además de los métodos de evaluación adaptados al tópico.

Vale la pena señalar que ambos tipos de profesores tienen como propósito que los estudiantes comprendan con facilidad el tema de la materia, no obstante, el CPC de cada uno de ellos es diferente. Citando a Shulman (2001, p. 182): «Tal como hemos llegado a concebir la enseñanza, ella se inicia con un acto de razón, continúa con un proceso de razonamiento, culmina con la acción de impartir, sonsacar, hacer participar, o seducir, y luego es objeto de mayores reflexiones hasta que el proceso pueda reiniciarse».

Apoyándose en este trabajo investigativo, Shulman diseñó un modelo de razonamiento y acciones pedagógicas que vinculan la comprensión, el juicio y la acción, es decir, que el profesor puede transformar la comprensión, las habilidades o las actitudes en representaciones o acciones pedagógicas. Por lo tanto, él considera que, para que los profesores logren desarrollar el CPC en un tópico específico, deben fundamentar el acto educativo en un ciclo iterativo constituido por los siguientes procesos: la comprensión y el razonamiento; la transformación y la reflexión, lo anterior le permitirá al enseñante tomar las decisiones tanto a nivel curricular como a nivel instruccional, eso sí, ajustadas a las particularidades del aprendiz y al contexto.

De ahí que el propósito de la formación docente no es el de adoctrinar a los enseñantes para que actúen de acuerdo a un currículo prescripto en donde únicamente se dedican a aplicar una serie de conocimientos construidos por los especialistas de forma vertical, sino el de ayudarles a desarrollar instrumentos teóricos y esquemas de razonamiento que fundamenten las decisiones curriculares e instruccionales que toman para enseñar un contenido específico a estudiantes particulares. Adicionalmente, se afirma que la comprensión, el juicio y la acción forman un sistema que posibilita el diseño de estrategias de enseñanza, de tal forma que los estudiantes puedan realizar procesos de comprensión del tema de la materia (Shulman, 1987).

Shulman (2001) señaló que el proceso de enseñanza está condicionado por dos elementos fundamentales, tales como: (a) la toma de decisiones curriculares y (b) la toma de decisiones instruccionales. En cuanto a la primera, se inicia con la planificación reflexiva de su acto educativo; para ello, se selecciona la estructura conceptual del tópico específico, los patrones de

razonamiento que pretende desarrollen los aprendices, las metas a alcanzar a través de la enseñanza de este contenido, los aspectos del tópico que son difíciles tanto para enseñar como para aprender, las posibles concepciones alternativas, además del conocimiento del estudiante particular y de su contexto educativo, de este modo puede decirse que el docente comprende a fondo lo que pretende que sus estudiantes comprendan. El segundo elemento se refiere a las estrategias instruccionales generales para la enseñanza de la disciplina y las estrategias específicas del tópico en cuestión (analogías, metáforas, demostraciones, explicaciones y actividades).

Así, los anteriores elementos permiten replantear una nueva forma de enseñanza, evaluación, reflexión y comprensión para una futura enseñanza del mismo tema de la materia, con lo que se reiniciará un nuevo ciclo de reflexión. Vale la pena resaltar que el modelo de razonamiento y acción pedagógica es dinámico, cíclico e iterativo, en él interaccionan cuatro aspectos: comprensión, juicio, acción y reflexión.

Vale la pena resaltar, que el modelo de razonamiento y acción pedagógica propuesto por Shulman (1987) para fundamentar la toma de decisiones curriculares e instruccionales es un sistema dinámico, cíclico e iterativo, que está compuesto por los siguientes elementos: comprensión, transformación, instrucción, evaluación y reflexión. Este modelo se resume en la Figura 1.1.

CONCEPTUALIZACIÓN Y FUENTES DEL CPC DESDE LA PERSPECTIVA DE GROSSMAN

Grossman (1990) estudió un grupo de seis profesores novatos de inglés que fueron excelentes estudiantes a lo largo de su pregrado; incluso, varios de ellos estaban cursando su doctorado, lo que garantizaba que tuvieran un buen conocimiento del tema de la materia. El grupo se encontraba dividido en dos subgrupos de tres profesores, uno de ellos había cursado durante su carrera de educación cursos formales de currículo e instrucción dirigidos a la enseñanza del inglés (como primera lengua), mientras que los otros se certificaron como enseñantes a través de programas alternativos de certificación; vale la pena anotar que los cursos de formación impartidos durante la carrera de magisterio en los Estados Unidos requieren de una mayor inversión de tiempo y cognición, comparados con los programas de acreditación alternativos. Así pues, Grossman (1990, 2005) trató de evidenciar cómo los cursos específicos sobre una materia condicionan el desarrollo del CPC de los profesores de inglés.

Grossman (1990) considera que la conceptualización de la base del conocimiento para la enseñanza a lo largo del tiempo ha sufrido una evolución

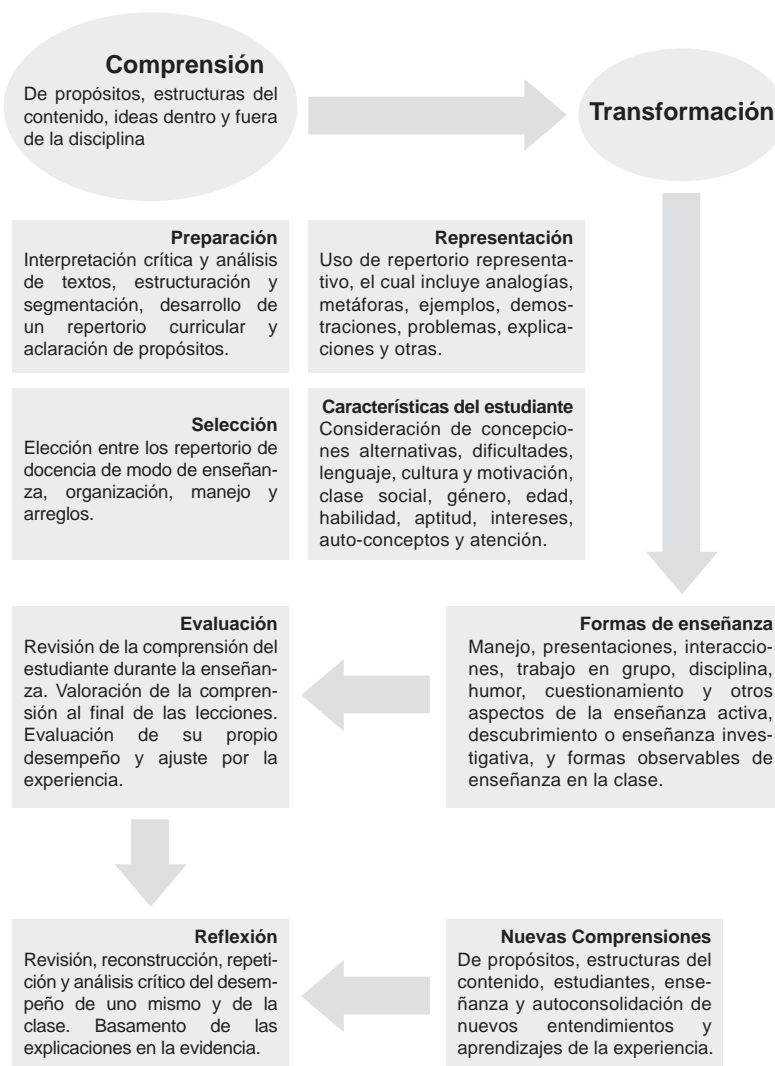


Figura 1.1. Modelo de razonamiento y acción pedagógica propuesto por Shulman (1987) y adaptado por Salazar (2005)

progresiva, visible en las categorías que la componen; así, se ha podido ver, desde los planteamientos de Elbaz (1983), quien consideró que este constructo, al que ella llamó «conocimiento práctico», estaba formado por los siguientes elementos: conocimiento de sí mismo, conocimiento del medio de enseñanza, conocimiento del tema de la materia, conocimiento del desarrollo curricular y conocimiento de la instrucción. Por su parte, Leinhardt y Smith (1985) categorizaron el conocimiento del profesor en el tema de la

materia y el conocimiento de la estructura de las lecciones. Mientras que los investigadores de Stanford (Shulman, 1986, 1987; Wilson, Shulman & Richert, 1987) definieron siete categorías de la base de conocimiento para la enseñanza: conocimiento del contenido; conocimiento de la pedagogía; conocimiento del currículum; conocimiento de los aprendices y el aprendizaje; conocimiento del contexto escolar; conocimiento pedagógico del contenido, y conocimiento de la filosofía educativa, metas y objetivos. Ahora bien, Grossman afirma que mientras los investigadores difieren en sus definiciones de varios de los componentes del conocimiento del profesor, existen cuatro áreas generales que pueden ser vistas como las piedras angulares del trabajo emergente sobre este conocimiento, a saber: conocimiento pedagógico general, conocimiento del tema de la materia, conocimiento pedagógico del contenido y conocimiento del contexto (ver Figura 1.2).

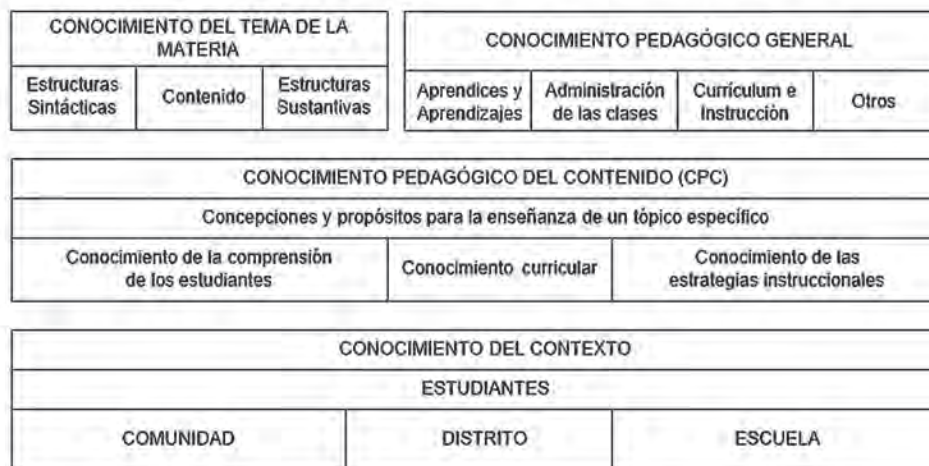


Figura 1.2. Modelo del conocimiento del profesor

Fuente: Grossman, 1990, p. 5.

Grossman (1990) considera que existen complejas interrelaciones entre el CPC, el conocimiento del tema de la materia, la pedagogía y el contexto, y que estas interacciones influyen en la toma de decisiones curriculares e instruccionales. En cuanto al CPC en relación a un contenido específico de la materia, Grossman (1990) declaró que este es un sistema formado por los siguientes elementos: *el conocimiento y las creencias acerca de los propósitos de la enseñanza de la materia*, que son reflejadas en las metas del profesor para la enseñanza de un tópico particular; *el conocimiento curricular de la materia*, que incluye el conocimiento de los materiales curriculares

disponibles para la enseñanza de un tema particular, además, la manera en que podrían ser organizados en el presente y en el futuro los núcleos conceptuales del currículo; *el conocimiento de la comprensión de los alumnos acerca del contenido específico de la materia*, es decir, el conocimiento acerca de lo que los estudiantes ya conocen del tópico en consideración y lo que a ellos probablemente les dificulte el aprender; *el conocimiento de las estrategias curriculares e instruccionales* que permitirán que los aprendices superen sus dificultades. Aunque todos los aspectos que conforman el sistema iterativo del CPC juegan un papel importante en el saber profesional del docente, el elemento que condiciona a los demás es el conocimiento y las creencias acerca de la enseñanza de esa materia, esto significa que las decisiones curriculares e instruccionales que toma el docente están condicionadas por este elemento, al cual Magnusson et al. (2000) denominaron como las orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias.

De ahí, Grossman (1990), en su estudio realizado con seis profesores, evidenció que estos compartían el mismo conocimiento de la materia *per se*, no obstante, sus concepciones y creencias acerca de los propósitos de la enseñanza de un tópico específico en diferentes niveles variaron en los dos grupos de profesores, de hecho, esta diferencia condiciona la toma de decisiones curriculares e instruccionales en un tema específico de la materia a enseñar, es decir, estas concepciones encarnadas de la enseñanza de un tema son reflejadas en las metas que el profesor se propone con la enseñanza de un tópico particular.

Otro aspecto esencial del sistema CPC es el conocimiento que tiene el enseñante acerca de la comprensión que posee el aprendiz del tema de la materia, este conocimiento se centra en cómo un estudiante aprende un tópico específico, en otras palabras, el énfasis no se centraliza en cómo los estudiantes aprenden en general, sino que se complementa con el saber la manera en que un estudiante aprende un tema en específico; empero, estos dos tipos de conocimientos no son excluyentes, sino complementarios. De hecho, este elemento es fundamental debido a que informa a la planificación curricular las expectativas y el diagnóstico de los estudiantes.

Adicionalmente, Grossman (1990) logró evidenciar que existe una diferencia notable en cuanto al conocimiento que tienen los profesores de la comprensión que poseen los estudiantes acerca de un tópico específico, entre aquellos enseñantes que cursaron materias relacionadas con la toma de decisiones curriculares e instruccionales en una disciplina y los que no tomaron estos cursos de forma prolongada durante su estudio de pregrado. De lo anterior, afirma que los profesores que no tuvieron esa preparación profesional encontraron difícil inferir las concepciones alternativas y las

posibles dificultades de los aprendices; ahora, en aquellos casos donde pudieron anticipar estas concepciones alternativas, no las utilizaron como un recurso para diseñar estrategias instruccionales que posibiliten al aprendiz superar las dificultades. En cuanto al profesor que sí tuvo esta preparación en su universidad, este deja ver su competencia para intuir los modelos intuitivos de los estudiantes sin mostrarse sorprendido por ellos, sino que los toma como un recurso para planear el diseño de estrategias que permitan a los alumnos comprender el tópico bajo consideración.

El componente final del conocimiento pedagógico del contenido, según Grossman (1990), incluye el conocimiento de las estrategias instruccionales y las representaciones para la enseñanza de un tópico particular. Vale destacar que en cuanto a este aspecto del CPC los profesores experimentados y «eficientes» pueden poseer un rico repertorio de metáforas, modelos analógicos, demostraciones, analogías, simulaciones, experimentos, actividades o explicaciones que son particularmente efectivas para la enseñanza de un tópico particular, mientras que los profesores novatos están todavía en el proceso de desarrollar este repertorio de estrategias instruccionales y de representaciones.

Ahora bien, tomando prestado el término de Dewey (2004), los cuatro aspectos mencionados arriba constituyen un sistema iterativo que conforma el CPC, brindándole al enseñante los instrumentos cognitivos para que pueda psicologizar el tema de la materia, es decir, repensar los tópicos y conceptos disciplinarios para hacerlos más accesibles a los estudiantes.

Después de haber abordado los elementos del CPC desde la perspectiva de Grossman (1990), se ha considerado pertinente tratar las fuentes desde las que el enseñante ha construido de manera progresiva este tipo de conocimiento.

Fuentes del CPC según Grossman

En relación con las fuentes del CPC del enseñante, varias han sido citadas por la literatura relacionada con la cognición del profesor, no obstante, Grossman (1990), para desarrollar su horizonte de sentido acerca de dónde el profesor construye el conocimiento para la enseñanza de un tema específico, se ha focalizado solo en cuatro orígenes, los cuales se desarrollan abajo.

Aprendizaje por observación

En relación a la primera fuente, se ha determinado que el profesor construyen concepciones alternativas acerca de la enseñanza de un contenido específico a través del aprendizaje por observación durante su vida como aprendiz, de hecho, estas son representaciones implícitas y encarnadas en el sistema cognitivo del enseñante (Pozo, 2000) que muestran resistencia al

cambio, incluso después de haber recibido una intervención cognitiva por medio de la instrucción a nivel universitario. Ahora, este aprendizaje por observación contribuye al conocimiento pedagógico del contenido en una variedad de formas, a saber:

- Las experiencias como estudiantes suministran a los profesores novatos diferentes estrategias para orientar la enseñanza de un tópico específico. Es decir, todas aquellas estrategias que los educadores de los profesores novatos utilizaron para que estos aprendieran un contenido específico y, además, que hayan sido significativas para ellos, serán utilizadas por estos para enseñar durante su vida profesional.
- El profesor novato construye su conocimiento de la comprensión que tiene el estudiante sobre un determinado contenido específico, a partir de sus experiencias como estudiante. Así, ellos pueden asumir que sus experiencias como estudiantes fueron representativas y evocan de su memoria permanente sus intereses y capacidades en un tema particular de la materia, para informar su conocimiento acerca de la comprensión del estudiante en ese tópico (concepciones alternativas, dificultades, etc.)
- El aprendizaje por observación puede dar luces sobre el conocimiento curricular del profesor novato, ya que este a lo largo de su experiencia como estudiante está expuesto a secuencias de núcleos conceptuales, así como a los materiales para enseñarlos.

Desde esta perspectiva, se tiene que el aprendizaje por observación ayuda a conservar las formas tradicionales de enseñar y organizar el conocimiento de determinados tópicos. Adicionalmente, se evidencia que el profesor novato cuando es estudiante no logra hacer un discernimiento entre los aspectos curriculares, los materiales y las estrategias utilizadas por su profesor y las metas que este se ha propuesto para con él.

Antecedentes de la disciplina

La literatura sobre las fuentes del conocimiento de los profesores novatos ha dejado ver que estos confían en su saber disciplinar como su principal instrumento para construir el CPC acerca de la enseñanza de un tema de la materia. Así que muchas de las decisiones relacionadas con la selección, secuenciación y temporalización de los contenidos, además de la escogencia de los materiales curriculares vienen condicionadas por su conocimiento de la disciplina *per se*. Por tanto, aquellos enseñantes que tuvieron un buen conocimiento de la disciplina *per se* fueron los que con mayor facilidad pudieron apartarse de la organización del contenido propuesto por los textos escolares;

por el contrario, los que no tuvieron un conocimiento sustantivo y sintáctico de su disciplina dejaron que el texto escolar fuera el que seleccionara, secuenciara y temporalizara los contenidos a enseñar (Grossman, 1990).

Cursos de desarrollo profesional

Grossman (1990, 2005) destaca la importancia que juegan en el desarrollo del CPC del profesor los cursos de «currículum» e «instrucción» en una materia específica, ya que, junto con la experiencia de enseñanza, estos influyen en cómo los profesores enseñan y piensan en relación a su materia. Estos cursos y la experiencia de enseñanza le suministran al profesor unos marcos teóricos para reflexionar sobre la enseñanza de un tópico específico, además de permitirle diseñar y aplicar estrategias instruccionales ajustadas a unos aprendices específicos, de tal forma que estos puedan superar sus dificultades y palear sus diferencias de origen.

Ahora bien, Grossman (2005) considera que un aspecto específico de los cursos de desarrollo profesional es que son diseñados para ayudar a los estudiantes de magisterio a adquirir el conocimiento que subyace a los métodos de enseñanza de un tema particular de la materia, es decir, los cursos acerca de los métodos están articulados con el conocimiento que necesita el enseñante para transformar el contenido de la disciplina *per se* en unas representaciones accesibles a estudiantes particulares. De hecho, una política de mejoramiento de la calidad de la educación debe de focalizarse en el diseño y desarrollo de cursos profesionales tanto para profesores preservicio como para los profesores en servicio, así como permitirle a estos psicoanalizar los temas de la materia para la enseñanza, además de ayudarles a que sus concepciones alternativas acerca de la enseñanza de un tema evolucionen de forma progresiva.

La literatura referente al desarrollo profesional del profesor deja evidenciar que aquellos estudiantes de educación terciaria matriculados en carreras para el magisterio que asumieron los cursos de métodos de enseñanza de un tópico y desarrollo profesional de forma consciente y reflexiva a lo largo de su pregrado, pudieron construir unas teorías marco que les permite ver los problemas de aprendizaje de una manera diferente; en su desempeño el dúo iterativo teoría-práctica se afecta mutuamente, es decir, la teoría ayuda a desarrollar la práctica y la práctica contrasta la teoría. De allí que los enseñantes con esta formación puedan detectar las concepciones alternativas de los estudiantes sin que esto les cause sorpresa o desmotivación, de hecho, las asumen como un recurso para diseñar estrategias curriculares e instruccionales que les permitan a los estudiantes acceder al conocimiento de dicha disciplina.

Adicionalmente, este enseñante, a través de ese sistema iterativo (teoría-práctica), logra ajustar el contenido, la secuencia, los materiales, las metas y

las expectativas de enseñanza al desarrollo cognitivo del aprendiz (Grossman, 2005). Finalmente, aquellos profesores que no han cursado seminarios de currículo e instrucción de un área fundamentan las tomas de decisiones curriculares e instruccionales en su experiencia como aprendices; por consiguiente, si ha sido un estudiante brillante, esperaría que sus aprendices se interesaran y aprendieran como él lo hizo, es decir, que las expectativas y metas estarían desajustadas a las singularidades de los estudiantes, lo cual le impide inferir las concepciones alternativas de estos.

El aprendizaje desde la experiencia

Para finalizar, se puede afirmar que los profesores desarrollan el conocimiento pedagógico del contenido desde la experiencia actual de la clase, dicho de otra forma, a través de ella pueden contrastar los conocimientos que han adquirido por intermedio de otras fuentes. Así pues, el enseñante realiza procesos de reflexión crítica a lo largo de la enseñanza de un contenido específico en torno a las teorías marco, que han sido adquiridas a través de los cursos de métodos y su desarrollo profesional, con la intención de determinar si estas teorías marco pueden adaptarse y ajustarse al contexto nacional, institucional y de aula.

Desde luego, esta interacción entre teoría-práctica y mente-acción les permite a los profesores construir su propio conocimiento en torno a la enseñanza de un tópico particular, sin que estos lleguen a sentir que tal conocimiento proveniente de los especialistas es externo a ellos o, en su defecto, ha sido prescripto de forma vertical por esta comunidad de investigadores para que sea aplicado en las aulas. Asimismo, por medio del trabajo con los estudiantes y en escenarios reales de enseñanza, ellos detectan las concepciones alternativas que poseen los estudiantes en relación a un tópico particular; además, aprenden a diseñar y a evaluar las mejores estrategias, representaciones, metáforas, analogías, demostraciones necesarias para enseñar un tema, de tal forma que este sea más accesible a los aprendices particulares.

Grossman (2005) afirma que sin un marco teórico que fundamente la toma de decisiones curriculares e instruccionales los profesores pueden aprender erróneamente de la experiencia, de hecho, se considera que el marco teórico le permite al profesor interpretar los posibles modelos alternativos que serán de utilidad para diseñar las estrategias adecuadas para que los aprendices superen sus dificultades.

En definitiva, el CPC del enseñante se desarrolla debido a la confluencia de los fundamentos teóricos provenientes de la investigación educativa y la práctica de la enseñanza de un tema particular.

CONCEPTUALIZACIÓN Y ELEMENTOS DEL CPC DEL PROFESOR DE CIENCIAS DESDE LA PERSPECTIVA DE MAGNUSSON

Después de haber hecho un análisis crítico de los diferentes estudios acerca del CPC a lo largo de dos décadas de investigación, parece pertinente centrarnos en el modelo que diseñaron Magnusson, Krajcik y Borko (1999), el cual tuvo su fundamento teórico en los estudios hechos por investigadores como Shulman (1986) y Grossman (1990). Vale la pena resaltar que el estudio realizado por Magnusson y sus colegas se focalizó en la naturaleza y el desarrollo del CPC de los profesores de ciencias.

Magnusson et al. (1999) conceptualizaron el CPC como un sistema complejo constituido por cinco elementos con límites difusos que interactúan sistemáticamente. Ahora, el marco conceptual de esta investigación está apoyado por las siguientes asunciones: (1) el CPC es un conocimiento que es transformado y su mayor poder radica en estar formado por partes; (2) el conocimiento del profesor influye en la ejecución de las clases y en el aprendizaje del aprendiz; (3) los profesores experimentados poseen múltiples representaciones del conocimiento, las cuales les permiten tomar decisiones instruccionales, y (4) los profesores novatos poseen un bajo número de representaciones del tema de la materia, que condicionan sus decisiones instruccionales.

Elementos del CPC desde la perspectiva de Magnusson

Los cinco elementos que conforman el CPC son: a) orientaciones hacia la enseñanza de la ciencia; b) conocimiento y creencias acerca del currículo de la ciencia; c) conocimiento y creencias acerca de la comprensión de los estudiantes de un tópico específico de la ciencia; d) conocimiento y creencias acerca de la evaluación en la alfabetización científica, y e) conocimiento y creencias acerca de las estrategias instruccionales para la enseñanza de la ciencia. Estos son desarrollados a continuación:

Orientaciones hacia la enseñanza de la ciencia

Magnusson et al. (1999) usó el rótulo de «orientación» como una forma de categorizar los diferentes métodos para la enseñanza de la ciencia. Así, conceptualizaron este elemento como el conocimiento y las creencias que posee un profesor en relación a los propósitos y metas que tiene la enseñanza de la ciencia en un nivel particular; asimismo, se puede conceptualizar como las concepciones encapsuladas o encarnadas que el enseñante moviliza al aula para enseñar un tema particular. Vale la pena resaltar que este conocimiento sirve de base para orientar o guiar la toma de decisiones relativas a la planeación, representación, acción y reflexión, alrededor de

temas tales como: objetivos diarios, tareas de los estudiantes, uso de textos, materiales curriculares, actividades, representaciones y evaluación del aprendizaje del estudiante (Magnusson et al., 1999).

Ahora, la investigación en educación en ciencias ha construido nueve categorías de orientación hacia la enseñanza, estas son: procesos, rigor académico, didáctica, cambio conceptual, actividad conducida, descubrimiento, proyecto basado en la ciencia, investigación, e investigación orientada. Vale la pena destacar que cada orientación ha sido descripta de acuerdo a las metas que el profesor pretende sean alcanzadas por sus estudiantes, y también de acuerdo a las características de la instrucción que serían utilizadas por él durante el acto educativo; de esta manera, los investigadores han evidenciado que existe una correlación entre las metas y los atributos de la instrucción (ver Anexo 1).

Debe destacarse que se han llevado a cabo varios estudios en los cuales se desarrollaron unos métodos que permitieron identificar y caracterizar las teorías personales sobre la enseñanza con las que llegan los profesores a los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias. De hecho, un resultado interesante de estas investigaciones es que los profesores pueden sostener al mismo tiempo varias orientaciones, cuyas metas son opuestas. Adicionalmente, estos estudios han dejado ver que el elemento de las orientaciones de la enseñanza de la ciencia condiciona los otros cuatro aspectos propuestos por Magnusson et al. (1999) como componentes del CPC.

Conocimiento del currículum

Existen diferentes conceptualizaciones del constructo currículum, por ejemplo: el currículum recibido (lo que los estudiantes aprenden), currículum deliberado (lo que el profesor enseña), el currículum evaluado y el currículum de los textos escolares. No obstante, ninguno de los anteriores permite capturar el elemento curricular del CPC del enseñante; por ello, aquí se ha adoptado la postura de un currículo en términos de lo que un profesor se propone enseñar. Por lo anterior, el currículo propuesto se centra en dos aspectos esenciales, a saber: (a) las metas y los objetivos; (b) los programas curriculares específicos y materiales relacionados con estos tópicos. Vale la pena recordar que Shulman consideró el conocimiento curricular como una categoría de la base de conocimiento para la enseñanza (Shulman, 1986, 1987), sin embargo, Grossman (1990) asumió el conocimiento curricular como un elemento clave del CPC que, adicionalmente, actúa como un atributo que permite distinguir el contenido del especialista, del licenciado de la disciplina, es decir, es la marca del conocimiento pedagógico.

Las fuentes de las que un profesor de ciencias puede extraer las metas y los objetivos que pretende alcancen los estudiantes a través del aprendizaje de un tópico específico son documentos que, en la mayoría de los casos, han sido elaborados por los colectivos de especialistas (Ministerios de Educación), así, estos documentos reciben un nombre en cada país, por ejemplo: *Lineamientos Curriculares para el Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental* (Colombia, MEN, 1998), *Science framework for California public schools kindergarten through grade twelve* (California State Board of Education, 1990), *Michigan essential goals and objectives for science education (K-12)* (Michigan State Board of Education, 1991). En efecto, un profesor competente debe de haber estudiado e internalizado las ideas pertinentes de estos documentos, con el propósito de utilizarlos en la planeación, reflexión y acción del acto educativo.

Otro aspecto importante del conocimiento del currículo lo constituye el conocimiento de los programas y los materiales que son esenciales para la enseñanza de un contenido específico de la ciencia. En cuanto a la decisión curricular que toma el profesor acerca de la secuencia de enseñanza de los núcleos conceptuales, Magnusson et al. (1999) considera que el currículum debe de ser adaptado en niveles, de acuerdo al desarrollo de la población en general, no obstante, le corresponde también ajustarlo al contexto singular de los estudiantes. Ahora bien, el profesor competente debe conocer la articulación vertical y horizontal de los núcleos conceptuales; la primera le permite saber lo que sus estudiantes han aprendido y van a aprender a lo largo de la educación primaria y secundaria; mientras que la articulación horizontal le permite relacionar el tópico de la ciencia que está siendo enseñado con otras ideas que se desarrollaron o desarrollarían en el mismo nivel escolar. Vale la pena destacar que el conocimiento de lo sustantivo y sintáctico de la disciplina, además de ayudarlo a programar la forma de enseñarlo, le permite al enseñante seleccionar y temporalizar los tópicos, de tal manera que no invierta mucho tiempo en el desarrollo de ideas superfluas; en cambio, le dedique el tiempo suficiente a los tópicos esenciales.

En cuanto a los materiales que se deben utilizar para ayudar a los estudiantes a comprender un tópico específico, Magnusson et al. (1999) consideran que la gran mayoría de los profesores asumen el texto escolar como el primer material para la instrucción. Sin embargo, hay recursos materiales que los profesores usan para reemplazar o complementar el texto, tales como el intercambio de conocimiento con otros profesores, las TICs, modelos tridimensionales de moléculas, laboratorios simulados, experiencias anteriores de enseñanza del tópico, conceptos de otras disciplinas, etc.

Conocimiento de la comprensión del estudiante

Este elemento se refiere al conocimiento que debe tener el profesor de los siguientes aspectos: modelos intuitivos acerca del tópico a aprender; ¿cómo aprenden mejor los estudiantes?, ¿cuál es el estilo de aprendizaje de los aprendices?, ¿qué tópicos de la ciencia se les dificulta aprender a los estudiantes? y ¿qué esquemas de razonamiento se requiere que el estudiante haya desarrollado para aprender el tópico en cuestión?

Un profesor competente debe de conocer cuáles esquemas de razonamiento están correlacionados con el aprendizaje de un tópico específico que él pretende que sus estudiantes aprendan, adicionalmente, debe conocer si estos esquemas de razonamiento han sido desarrollados en ese aprendiz particular (Shayer & Adey, 1986). Lo anterior le permite al profesor saber en qué punto comenzar la instrucción.

Magnusson et al. (1999) afirman que los profesores de ciencias deben conocer los modelos intuitivos que han construido sus estudiantes tanto en la interacción en el medio social-natural como durante la instrucción, es decir, conocer las concepciones alternativas que tienen los estudiantes respecto a un tópico otorgará herramientas conceptuales para planear estrategias que generen un «conflicto cognitivo» en el pensamiento del estudiante o hacer que estos tomen conciencia de la existencia de otros modelos sistemáticos que explican el fenómeno en cuestión de manera diferente. Vale la pena señalar que los conceptos científicos frente a los que los estudiantes tienen concepciones intuitivas presentan mayor dificultad para ser aprendidos, a consecuencia de que estas ideas intuitivas son típicamente favorecidas sobre el conocimiento científico, porque ellas son sensibles, coherentes y tienen utilidad para la resolución de los problemas cotidianos del estudiante. En contraste, las metas de los conceptos científicos pueden parecer incoherentes e inútiles para el aprendiz (Driver & Easley, 1978).

Hay que tener en cuenta que no todos los modelos intuitivos poseen el mismo nivel de resistencia a la evolución hacia unos modelos más elaborados, de ahí que el profesor debe realizar un proceso de discernimiento en el que determine aquellas ideas intuitivas que necesitan de un alto poder de cambio conceptual y las concepciones que con un buen método convencional lograrían dicha evolución (Wandersee, Mintzes & Novak, 1994). Se considera que un profesor de ciencias competente debe de conocer las concepciones alternativas que poseen los estudiantes acerca de un tópico específico, con el propósito de interpretar las acciones e ideas de los estudiantes (Magnusson, et al., 1999).

Magnusson et al. (1999) afirman que se han encontrado en la literatura pocos estudios acerca del conocimiento que tienen los profesores de los

modelos intuitivos de sus estudiantes, sin embargo, estos han informado a la comunidad académica de educadores en ciencias que, aunque los profesores tienen algún conocimiento acerca de las dificultades de los estudiantes, a ellos comúnmente les falta conocimiento relevante para ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades (Magnusson et al., 1999). Ahora bien, se han realizado estudios donde los profesores de ciencias a partir de la literatura han podido identificar los diferentes modelos intuitivos de un tópico específico, no obstante, cuando se encontraron en el acto educativo fueron incapaces de movilizar estos al aula y de esta manera identificar las concepciones de sus estudiantes (Magnusson et al., 1999). Adicionalmente, existieron profesores que sostenían modelos alternativos acerca del tópico en cuestión semejantes a los de los educandos, de hecho, se concluye que a los profesores les falta un conocimiento crucial para poder ayudar a los aprendices a superar sus dificultades del aprendizaje en un tópico específico.

Otra dificultad que presentan los estudiantes en el aprendizaje de los tópicos hace referencia a la resolución de problemas, esto debido a que los aprendices no han sido preparados para construir sus problemas y diseñar estrategias que les permitan darles solución, al contrario, a lo largo de su escolaridad se les ha enseñado a seguir trayectorias algorítmicas que les permitan llegar a una solución preestablecida, es decir, el enseñante no moviliza al aula auténticos problemas escolares, sino ejercicios numéricos que son necesarios, pero que no son suficientes para desarrollar una comprensión relacional del tópico en cuestión (García, 2003). Así pues, es pertinente que los profesores conozcan los posibles errores conceptuales que el estudiante comúnmente comete al afrontar situaciones problemas tanto de carácter cualitativo como cuantitativo.

Los estudios realizados en torno a este aspecto del CPC de los profesores de ciencias concluyeron que las prácticas reales de enseñanza, complementadas con la reflexión tanto en la acción como después de ella, pueden ayudar al profesor a desarrollar este aspecto, no obstante, un aumento del conocimiento de la comprensión de los estudiantes no garantiza que los profesores puedan responder apropiadamente cuando los estudiantes exhiben estos modelos del sentido común.

Conocimiento de la evaluación en ciencias

Este aspecto del CPC está constituido por dos elementos, a saber: (a) conocimiento de las dimensiones a evaluar en el aprendizaje de las ciencias, tales como: conceptos, procedimientos y actitudes, y (b) conocimiento de los métodos por los que el aprendizaje puede ser evaluado.

Tomando en cuenta la investigación en la educación en ciencias, consideramos pertinente adherirnos a una perspectiva que tiene como propósito el alfabetizar científicamente a la comunidad, para que estos miembros puedan participar activamente tanto a nivel individual, familiar y social en la toma de decisiones científicas en su contexto inmediato. De acuerdo a lo anterior, un profesor de ciencias competente debe de evaluar de manera formativa las dimensiones que la comunidad de investigadores en educación en ciencias ha consensuado, estas son: a) la comprensión conceptual; b) la interdisciplinariedad en los temas; c) la naturaleza de la ciencia; d) la investigación científica, y e) el razonamiento práctico (Magnusson et al., 1999), de hecho, estos elementos hacen parte de los *estándares básicos de competencias de educación en ciencias*.

En la alfabetización científica no todos los tópicos presentan el mismo grado de dificultad para ser evaluados, de allí que el profesor debe conocer cuáles dimensiones o aspectos deberían ser evaluados en una unidad particular. Desde luego, el enseñante competente debe de desarrollar a lo largo de su experiencia profesional varios métodos de evaluación, de tal forma que estos estén correlacionados con las características de los tópicos a evaluar.

Conocimiento de las estrategias instruccionales

Este es otro elemento del CPC; se estructura de acuerdo a los siguientes dos aspectos: (a) conocimiento de las estrategias generales para enseñar la ciencia y (b) conocimiento de las estrategias específicas para hacer que los estudiantes comprendan un tópico específico.

Consideramos que las estrategias generales de la enseñanza de la ciencia tienen una correlación con las orientaciones de la enseñanza, por cuanto estas hacen referencia a cómo orientar el acto educativo con el propósito de que los aprendices comprendan los múltiples tópicos de la disciplina (Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999). Al revisar la literatura relacionada con la enseñanza de la ciencia, se ha podido evidenciar que los investigadores han construido estrategias instruccionales que constan de tres o cuatro fases de secuencia, a saber: (a) una fase de exploración; (b) un período de introducción, y (c) un período de aplicación del concepto; luego, los investigadores a esta estrategia le dieron el nombre de «*ciclo de aprendizaje*» (Lawson, Abraham, & Renner, 1989). Según Magnusson et al. (1999), el ciclo de aprendizaje ha sido usado en la enseñanza de la ciencia con diferentes orientaciones, como: instrucción por descubrimiento, instrucción por investigación orientada e instrucción por cambio conceptual. En efecto, diferentes colectivos de investigadores han realizado algunas modificaciones

al ciclo de aprendizaje con la intención de ajustarlos a sus conocimientos y creencias de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Al revisar la literatura acerca del conocimiento que poseen los enseñantes de las estrategias para la enseñanza-aprendizaje de la ciencia, se pudo evidenciar que estos desconocen muchas de las estrategias que se han diseñando a partir de una perspectiva constructivista. De hecho, Magnusson et al. (1999) afirman que los profesores se conciben como mal preparados para utilizar de forma eficiente una orientación de la enseñanza fundamentada en una postura constructivista. Por tanto, Anderson y Smith (1987), realizaron una generalización naturalística en la cual afirmaron que el cambio de los profesores de una enseñanza de orientación didáctica o descubrimiento a una enseñanza por cambio conceptual, sin una instrucción explícita en las nuevas estrategias, le generaría confusión al enseñante, haciendo que este aplique las nuevas estrategias de forma prescriptiva o algorítmica, perdiéndose la buena intención del cambio propuesto.

La literatura del CPC ha dejado ver que un conocimiento incipiente del tema de la materia y de la estructura de la pedagogía se encuentra correlacionado con el inefectivo uso de las estrategias instruccionales, de hecho, se sugiere que un desarrollo del CPC requiere una estructuración en las tres categorías siguientes: conocimiento de la materia, conocimiento pedagógico y conocimiento del contexto (Grossman, 1990).

Por lo que se refiere a las estrategias específicas que el enseñante de ciencias moviliza al aula con la intención de que el aprendiz comprenda un tópico específico, se puede afirmar que están compuestas por los siguientes dos aspectos: (a) las actividades y (b) las representaciones.

Frecuentemente los profesores de ciencias se ven abocados a utilizar representaciones que les permiten formular un concepto abstracto, más accesible a sus estudiantes particulares. Para ello, utilizan las analogías, metáforas, demostraciones, laboratorios, modelaciones, etc. Hay que tener en cuenta que un profesor competente debe ser consciente y hacer consciente a los estudiantes de las fortalezas y debilidades de la representación. Por lo tanto, este profesor deberá juzgar y decidir cuándo una representación será útil para apoyar y difundir la comprensión de los estudiantes en una situación particular de enseñanza. Adicionalmente, debe tratar al máximo que el modelo mental del aprendiz no se quede en el nivel de representación concreto, sino que evolucione hacia un nivel de representación abstracto, que le permita explicar los fenómenos naturales y físicos de su contexto cotidiano.

Los investigadores en educación en ciencias han encontrado que un requisito fundamental para construir de forma planeada o espontánea las representaciones de un tópico específico es el manejo sustantivo y sintác-

tico de la disciplina por parte del profesor, es decir, que este elemento del CPC es dependiente del conocimiento del tema de la materia. No obstante, tener suficiente conocimiento de la materia no garantiza que este llegaría a ser transformado en representaciones que ayudarían a los estudiantes a comprender los conceptos, o que los profesores serían expertos decidiendo en qué momento utilizar determinado tipo de representación. Por ello, es importante que, además de conocer la materia *per se*, el enseñante necesita poseer un conocimiento de los siguientes aspectos: (a) posibles dificultades para comprender el tópico en cuestión; (b) estilos de aprendizaje del aprendiz; (c) concepciones alternativas; estos le permiten poder diseñar representaciones que le faciliten al estudiante acceder a los conceptos abstractos de la ciencias.

En cuanto a las actividades específicas de un tópico, puede afirmarse que son los instrumentos que ayudan al profesor a enseñar eficientemente y al aprendiz, a comprender los conceptos específicos y sus relaciones con otros referentes. Ahora bien, las actividades más comunes implementadas en el acto educativo son: problemas, demostraciones, simulaciones, investigaciones o experimentos. Vale la pena destacar que los investigadores en educación en ciencias evidenciaron que los profesores experimentados y reflexivos han construido a lo largo de su experiencia profesional un alto repertorio de actividades que les han facilitado a los estudiantes comprender los tópicos abstractos de la ciencia, por el contrario, un profesor novato carece de este repertorio de actividades (Clermont, Borko & Krajcik, 1994). Adicionalmente, los profesores experimentados demostraron mayor competencia para detectar los errores y declaraciones desorientadas de los aprendices durante el desarrollo de un tópico específico, lo cual les permitió rediseñar la actividad específica con la intención de que los estudiantes superaran las dificultades.

Adicionalmente, los investigadores han evidenciado que el conocimiento de los profesores de las actividades de enseñanza puede ser incrementado a través de los programas de educación, en donde los enseñantes participan de discusiones colegiadas tanto del conocimiento del tema de la materia como de la mejor forma de representarlo, con la intención de volverlas comprensibles. Ahora bien, el desarrollo de este aspecto del CPC está correlacionado con el conocimiento del contenido específico, de hecho, aquellos enseñantes que tienen un excelente conocimiento del tema de la materia están en la capacidad de modificar las actividades ofrecidas por el programa de formación o, incluso, de eliminar algunas que según su perspectiva no estarían contribuyendo eficientemente con las metas propuestas. De otro lado, aquellos profesores novatos que no poseen un fuerte conocimiento del

contenido presentan dificultad para desarrollar procesos de discernimiento acerca de cuál actividad o demostración es la más pertinente para que el aprendiz logre comprender el tópico en cuestión. No obstante, se debe considerar que no es suficiente poseer un excelente conocimiento del tema de la materia, de hecho, para desarrollar este elemento del CPC se deben conocer las dificultades, concepciones alternativas y el contexto del estudiante.

Ahora bien, en la próxima sección de este libro se expondrá cómo el constructo epistemológico del CPC ha influido en algunos programas de educación de desarrollo profesional tanto para profesores en formación como en ejercicio del nivel de educación secundaria.

Después de haber abordado la genealogía del constructo del conocimiento pedagógico del contenido y algunos de los instrumentos metodológicos utilizados por la comunidad de educación en ciencias para identificar, documentar y representar el CPC de un tópico específico, en el próximo apartado se examinan los diferentes obstáculos con los que se enfrentan los estudiantes en el aprendizaje de los tópicos del currículo de la química de la escuela secundaria.

¿POR QUÉ ES DIFÍCIL APRENDER QUÍMICA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA?

Los múltiples estudios que se han llevado a cabo desde hace ya varias décadas sobre la educación en química en los diferentes niveles de enseñanza tanto desde la perspectiva de la psicología cognoscitiva como desde el estudio de las concepciones alternativas, le ha permitido evidenciar a los investigadores que el aprendizaje de los tópicos de esta disciplina tiene un alto nivel de complejidad, debido a elementos tales como: la naturaleza abstracta de los tópicos; el alto componente matemático; un lenguaje basado en los tres niveles de representación, y los núcleos conceptuales fundamentados por los esquemas conceptuales de la química. De ahí que la comunidad de investigadores y educadores en química, para dar solución a este problema, han realizado en las últimas décadas varias reformas al currículo de la química, no obstante, tras todo este esfuerzo se sigue detectado que los estudiantes presentan problemas para acceder a este tipo de conocimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta sección se amplían dos de los elementos claves para la enseñanza y aprendizaje de la química, a saber: el pensamiento multinivel (tres niveles de representación), además de los núcleos y esquemas conceptuales de esta disciplina.

LOS TRES NIVELES DE REPRESENTACIÓN DE LA QUÍMICA

Johnstone (1991) considera que la efectividad de la enseñanza de la química es dependiente de la capacidad del profesor para orientar los procesos de comunicación al interior del aula, es decir, el lenguaje de esta

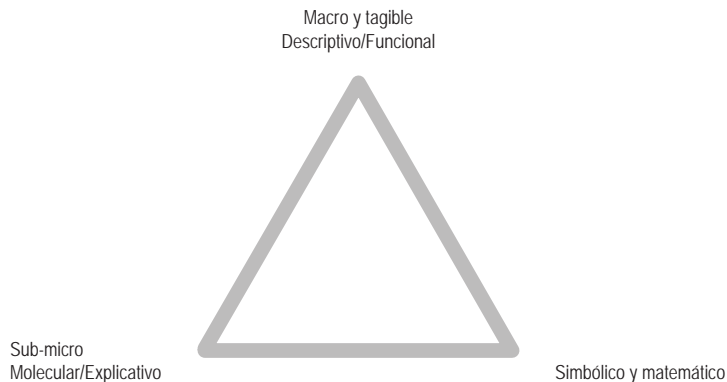
disciplina puede actuar como acelerador o como obstáculo para que el estudiante pueda acceder a los tópicos abstractos. Por consiguiente, este autor plantea que durante la planeación, la enseñanza y la reflexión se debe tener en cuenta aspectos tales como: sistemas de comunicación, niveles de representación (lenguaje de la ciencia), métodos de enseñanza, estilos de aprendizaje (¿cómo el sujeto aprende?) y la naturaleza del mismo mensaje.

En efecto, Johnstone (1982) ha estado interesado en construir una estrategia para ayudar a los estudiantes a acceder al conocimiento de esta disciplina; para ello, se ha focalizado en la competencia comunicativa como un instrumento para representar los tópicos de la química. Asimismo, considera que la estructura conceptual de la química es un sistema complejo formado por tres niveles de representación: (a) nivel de representación macroscópico, (b) nivel de representación submicroscópico y (c) nivel de representación simbólico.

- (a) Nivel de representación macroscópico o funcional/descriptivo: permite describir el fenómeno en cuestión a través de las representaciones que se han originado por la interacción del sistema sensorial del sujeto con el evento en consideración. Por ejemplo, el sujeto puede describir propiedades de los objetos, como densidad, color, volumen, masa, combustión, entre otras.
- (b) Nivel de representación simbólico o representativo: es aquel usado por los sujetos para comunicar las propiedades y transformaciones tanto físicas como químicas de la materia; para ello, utilizan las siguientes representaciones: ecuaciones químicas, gráficos, mecanismos de reacción, analogías y modelos analógicos.
- (c) Nivel de representación submicroscópico o explicativo: en este nivel los químicos y los docentes de química, intentan explicar por qué las sustancias se comportan de la forma en que lo hacen, y para esto movilizan al aula modelos teóricos como: átomos, moléculas, iones, isómeros, polímeros, orbitales atómicos, enlaces, etc., con el propósito de brindarle a la población no instruida en esta disciplina un modelo mental que le permita comprender y relacionar los fenómenos macroscópicos.

Ahora bien, Johnstone (1982) afirma que estos tres niveles de representación de los fenómenos químicos interactúan entre sí, es decir, conforman un sistema iterativo que se encuentra encapsulado en la memoria permanente tanto del químico como del educador en química; en otras palabras, este sistema está constituido por un conocimiento en la acción que ha sido interiorizado por estos, dado su reiterado uso durante su desempeño profesional; por ello, no son conscientes cuando se mueven de un nivel a otro.

En cuanto a la representación de este sistema, Johnstone (1982) diseña una figura a manera de triángulo con la intención de diagramar los tres niveles de la química, donde en cada vértice ubica los niveles de representación que permiten comprender los fenómenos químicos (ver Figura 2.1).



***Figura 2.1. Los tres niveles de representación
en las ciencias físicas***

Fuente: Johnstone, 1982.

Volviendo a la dificultad que tienen los aprendices para acceder al conocimiento químico, Johnstone (1982, 1991, 2010) afirma que esta se puede focalizar en la forma en que los educadores se mueven a través de los lados del triángulo de los niveles de representación, de hecho, ellos saltan de manera inconsciente de un nivel a otro, como en una serie de «gimnasia mental», de lo anterior se deriva la cuestión de que, si es duro para el enseñante hacer la separación de los tres niveles de representación durante el desarrollo de su clase, qué se podría decir del desespero del estudiante tratando de articular estos tres niveles (de cuya existencia no es consciente) para darle sentido a un fenómeno químico.

Por ejemplo, en una electrólisis de solución acuosa de cloruro de cobre (II) entre electrodos de platino, el enseñante recupera de su memoria permanente la representación de los iones de cobre positivo y cloro negativo, emigrando en direcciones opuestas, recogiendo o perdiendo electrones, descargando en los electrodos cristales de cobre y moléculas de cloro. Sin embargo, los alumnos que ven este mismo fenómeno por primera vez, pueden ver algo completamente diferente, porque los aprendices están operando en el nivel de representación macroscópico (descriptivo/funcional), de hecho, ellos ven un depósito café en el electrodo negativo y perciben burbujas en el otro. Además, las burbujas de gas tienen un mal olor y pueden blanquear

una porción de papel de color; el color de la solución llega a ser pálido hasta que este se desvanece completamente (Johnstone, 1982, 1991, 2010).

Debe destacarse que Johnstone (1991) se apoyó en las teorías de Piaget (estados de desarrollo), Ausubel (aprendizaje significativo), Pascual-Leone (modelos de procesamiento de la información), así como en la teoría de las memorias de Baddeley (1986) para diseñar el modelo del procesamiento de la información, que recoge los principios de cómo aprenden el estudiante (ver Figura 2.2). Así pues, este instrumento cognitivo lo debería de tener en cuenta el profesor a lo largo de la planeación, la enseñanza y la reflexión de un tópico específico, con la intención de ayudar a sus estudiantes a superar las dificultades en el aprendizaje del currículo de la química.

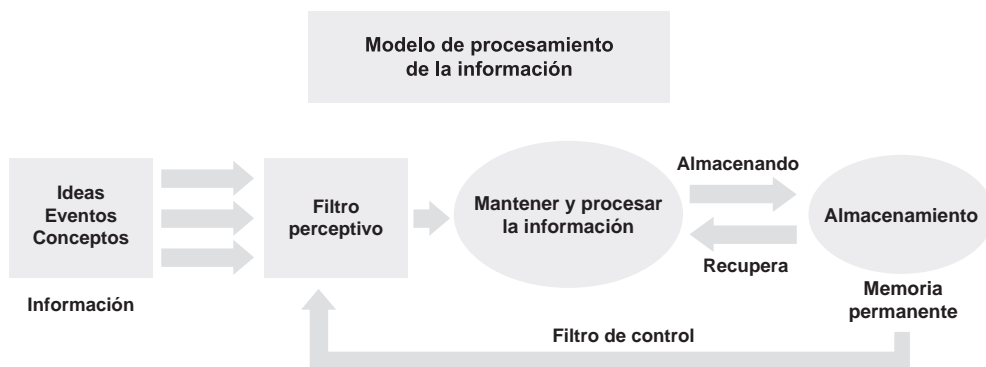


Figura 2.2. Modelo esquematizado del aprendizaje

Fuente: Johnstone, 1991.

Ahora bien, este modelo de procesamiento de la información toma dos elementos teóricos claves desde la teoría de las memorias de Baddeley (1986), la cual considera que los sujetos poseen una memoria de trabajo (memoria corto plazo) y una memoria permanente (largo plazo); a la primera se le asignan dos funciones: (1) mantener la información temporalmente y (2) procesarla a través de cadenas de razonamiento, para posteriormente almacenarla en la memoria permanente (largo plazo); en tanto que la segunda desempeña el papel de almacenar de manera permanente la información procesada por la memoria de trabajo de forma estructurada y jerárquica.

Vale la pena decir que la capacidad de procesamiento de la memoria de trabajo es limitada, ya que esta es compartida por las dos funciones. Por ejemplo, si se tiene que mantener una alta cantidad de información, quedaría poco espacio para procesarla; y viceversa, si se debe llevar a cabo un alto nivel de procesamiento, poca información puede ser sostenida. Por

lo general, la literatura de la psicología cognitiva afirma que la capacidad que tiene la memoria de trabajo para realizar sus funciones de manera simultánea es del orden de 7 ± 2 elementos de información, no obstante, Johnstone (2010) ha considerado que este rango no es del todo real, dado que este espacio es compartido por las dos funciones, por tanto, este cálculo se cumpliría únicamente cuando a alguien se le pidiera memorizar una serie de eventos, hechos, conceptos, para luego regurgitarlos sin procesarlos. En efecto, Johnstone considera que los sujetos estamos acostumbrados a trabajar por debajo del límite de nuestra capacidad, para así sentirnos cómodos; ahora bien, él concluye que la capacidad real de procesamiento simultáneo de la memoria de trabajo es del orden 5 ± 2 elementos.

Adicionalmente, para la construcción de su modelo del procesamiento de la información, Johnstone se centró en la máxima de Ausubel, Novak y Hanesian (2005), *«averígüese lo que el alumno ya sabe y enséñese en consecuencia»*, es decir, todo sujeto posee un filtro conceptual que le permite activar concepciones y creencias acerca de un fenómeno específico, con la intención deliberada de realizar una articulación idiosincrática entre el nuevo conocimiento y el viejo, dicho de otra manera, la memoria de trabajo evoca de la memoria permanente toda representación que tenga que ver con el evento particular, para así darle sentido a la nueva representación a través de cadenas de razonamiento, y luego poder almacenar lo procesado en la memoria permanente no como información, pero sí como un conocimiento articulado a una estructura conceptual (ver Figura 2.2). Lo anterior muestra que existen relaciones exitosas, no obstante, también pueden darse en muchos casos articulaciones erradas, originando o reforzando concepciones alternativas o, en el peor de los casos, ni si quiera permitiendo establecerlas (en este caso, la comprensión del evento no fue lograda).

El equipo de investigación de Johnstone (1991) llegó a la conclusión de que el problema que presentan los aprendices para acceder al conocimiento científico no solamente se da por la naturaleza abstracta de los conceptos de la química, sino también por la sobrecarga de la memoria de trabajo del aprendiz a causa del movimiento simultáneo e inconsciente a lo largo de los tres niveles de representación (macroscópico, submicroscópico y simbólico) que el enseñante ejecuta durante el acto educativo. Así pues, este, en una especie de gimnasia mental, salta de un nivel a otro, dejando al estudiante desamparado en el nivel macroscópico (acceso a través del sistema sensorial), aunque para el profesor este proceso de moverse de un nivel de representación a otro sea algo normal, puesto que él como experto de la disciplina ha tenido un desarrollo profesional que le ha posibilitado encapsular secuencias de cadenas de razonamiento en un solo paquete, lo

cual ha hecho que pueda liberar recurso cognitivo en la memoria de trabajo y por ende no sobrecargarla (Pozo, 2008).

Por lo general, el hecho de que el profesor se mueva inconscientemente por los tres niveles de representación de la química genera en la memoria de trabajo del aprendiz una sobrecarga, debido a que las tareas (abstractas) presentadas por el docente requieren del manejo simultáneo de más información de la que «cabe» en la memoria de trabajo; esto hace que haya una ruptura entre las ideas o eventos presentados al sujeto y su memoria permanente.

Johnstone (2010) propone que el aprendizaje de la química podría mejorar si el profesor, en primer lugar, explicita los tres niveles de representación que se encuentran registrados en su memoria permanente y, posteriormente, a través de la instrucción, le brinda la oportunidad al aprendiz para que de forma progresiva logre diferenciar e integrar a su estructura cognitiva cada uno de estos niveles. Adicionalmente, debe ajustar la cantidad de información requerida para determinada tarea al desarrollo de la memoria de trabajo del aprendiz, de modo que no exceda los recursos cognitivos de este último.

Finalmente, Johnstone (2010) concluye que se debería de reflexionar sobre los tópicos del currículo de la química, sus metas y la forma en que se ha venido enseñado a lo largo del tiempo, con la intención de volverla más accesible a toda la población de estudiantes. En este sentido, considera que para alcanzar este propósito se deben remover del currículo de la química escolar algunos contenidos, otros deben de ser reducidos y la gran mayoría ajustados a los antecedentes del aprendiz.

Después de haber abordado la influencia que tiene el pensamiento multi-nivel para la enseñanza-aprendizaje de los tópicos del currículo de la química, nos parece pertinente tratar en la siguiente sección la cuestión de ¿cómo los núcleos y esquemas conceptuales de esta disciplina fundamentan el anterior proceso?

LOS NÚCLEOS Y ESQUEMAS CONCEPTUALES, FACTORES RELEVANTES PARA EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA

Los estudios sobre la educación en química realizados desde la década del ochenta tuvieron la intención, en un sentido general, de determinar los problemas del aprendizaje de esta disciplina y, de manera particular, las concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes a sus clases para intentar comprender los contenidos, de ahí que en el medio se pueda encontrar un alto compendio de artículos publicados en revistas tales como: *Journal of Chemical Education*, *Research Science Teaching*, *Science*

Education, International Journal on Science Education y otras. Así pues, de esta amplia literatura se ha podido evidenciar que los estudiantes de todas las edades y niveles tanto educativos como culturales parecen tener problemas en la comprensión y el uso adecuado de los tópicos del currículo de la química al momento de intentar darle sentido a los fenómenos físicos y químicos de su medio a través de estos.

Por lo general, dentro de la comunidad de investigadores en educación en química se ha comenzado a producir la idea de que el aprendizaje de los tópicos de la química no solamente es difícil por su alto nivel de abstracción, contenido matemático y pensamiento multinivel, sino también por la estructura lógica de la organización de la disciplina, la cual está fundada por los tres núcleos conceptuales de la química, además de los principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales que subyacen a los anteriores. Por tal razón, toda actividad de enseñanza en esta materia deberá estar orientada a la construcción de los núcleos conceptuales, puesto que estas entidades brindan la oportunidad al estudiante de desarrollar de manera progresiva los esquemas conceptuales de la disciplinas y, a su vez, permiten que los aprendices le puedan dar sentido a los conceptos del currículo de la química (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Chi, Slotta & De Leeuw, 1994).

La literatura relacionada con la enseñanza del currículo de la química ha dejado ver que existen marcadas diferencias estructurales entre las concepciones alternativas de los estudiantes y los modelos teóricos propuestos por la ciencia. Así, a las concepciones alternativas las fundan principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales diferentes a los principios que subyacen a los modelos de la química.

A partir de la anterior asunción, se afirma que el pensamiento inicial del estudiante se fundamenta en una epistemología de realismo ingenuo, en la que solo existe lo que se puede percibir; luego de años de escolaridad, las ideas de los aprendices se desarrollan hacia un realismo interpretativo, en donde se acepta la existencia de entidades que no se pueden ver, pero que la química ayudaría a descubrir. Por ejemplo, la mayoría acepta la existencia de los orbitales atómicos, no como modelos que nos ayudan a interpretar o explicar las propiedades de la materia, sino como entes reales que no pueden verse, pero que la tecnología asociada a la investigación en química ha ayudado a descubrir (materialización o sustancialización de los modelos teóricos). Ahora, al pensamiento formal del aprendiz lo subyace un principio de constructivismo o relativismo que le proporciona modelos teóricos que le ayudan a interpretar la realidad, mas no son la realidad.

Con respecto al principio ontológico, se afirma que los estudiantes de menor edad, para poder darle sentido a los fenómenos químicos, se focali-

zan en los estados o propiedades de la materia (caliente o frío; sólido, líquido o gaseoso; rojo o azul, etc.), con los que pueden describir las propiedades observables de esta. No obstante, estas descripciones se quedan cortas en la búsqueda del porqué de los cambios o transformaciones; para ello, los estudiantes deberán de aceptar los procesos que explicarían los cambios entre los estados o las propiedades (el alcohol se evapora, el hierro se dilata, el agua se puede volver polvo, etc.). En cuanto a los modelos científicos, estos se encuentran fundamentados por una concepción que reconoce la existencia de sistemas que mantienen una interacción bidireccional que condicionaría las propiedades y transformaciones de la materia; por ejemplo, cuando se pone el agua dentro del congelador, sus partículas interacciona con las del aire, generando transformaciones en las dos direcciones (Pozo & Gómez, 1998).

Finalmente, el conseguir que los estudiantes comprendan las propiedades y transformaciones de la materia desde una perspectiva científica, implica que ellos cambien los principios conceptuales que fundan sus concepciones alternativas por los que subyacen a los tópicos de la química. Por tanto, este cambio se tiene que dar en una triple dimensión, a saber: (a) frente a una conceptualización de la materia continua y estática, se hace necesario concebirla como un sistema de partículas interactuando (esquema de interacción de sistemas); (b) frente a una necesidad de explicar lo que cambia, pero no lo que se conserva, se genera la importancia de conceptualizar la conservación de propiedades no observables de la materia, además de concebirla como un sistema complejo en equilibrio (esquema de conservación y equilibrio), y (c) frente a una interpretación de los fenómenos químicos desde una perspectiva cualitativa, se hace necesario encontrar relaciones cuantitativas entre los fenómenos químicos (esquemas conceptuales cuantitativos: proporcionalidad, correlación y probabilidad) (Pozo & Gómez, 1998).

En definitiva, de los tres principios enunciados, el que más interesa en la educación en química es aquel hace referencia a los esquemas conceptuales. De hecho, estos se encuentran correlacionados con las dificultades que presentan los estudiantes para aprender los tópicos del currículo de la química.

Ciertamente, al interior del colectivo de investigadores en educación en química se están proponiendo estrategias que le permitan al estudiante comenzar a superar las restricciones de origen, causadas por la falta del desarrollo de los esquemas conceptuales de la química. Así, una de estas consiste en que en los cursos de *Aprendiendo a Enseñar Química* el estudiante-profesor tome conciencia de los diferentes esquemas conceptuales que subyacen la construcción de los tópicos en consideración. Además, que

aprenda a generar espacios en donde el aprendiz se vuelva consciente de dichos esquemas y además los desarrolle. Por ejemplo, cuando se aborda el tópico de la densidad, tanto el enseñante como el aprendiz deben estar conscientes de que los esquemas conceptuales que subyacen la construcción de este contenido son: interacción, conservación, proporción y correlación, con la intención de que estos le permitan al estudiante darle sentido a los núcleos conceptuales y, a su vez, los núcleos brinden la posibilidad de desarrollar los esquemas conceptuales (Pozo & Gómez, 1998, Candela, 2012).

Por lo que se refiere a los tres núcleos conceptuales de la química: discontinuidad de la materia, conservación de propiedades no observables, y relaciones cuantitativas, se puede afirmar que el primero aborda la idea de la discontinuidad, la cual es fundamental para comprender la naturaleza de la materia y sus propiedades. El segundo, junto con el anterior, trata de la conservación de propiedades no observables, de modo que este le permite al estudiante hacer una diferenciación e integración de los cambios físicos y químicos, además de comprender las leyes ponderales. Finalmente, el tercer núcleo desarrolla la manera en que se cuantifican las relaciones entre los diferentes fenómenos con la intención de modelarlos. Por consiguiente, estos tres núcleos aparecen en la base de las dificultades que presentan los aprendices para interiorizar los diferentes tópicos del currículo de la química (Pozo, Gómez, Limon & Sanz, 1991).

En la próxima sección se tratarán las dos grandes teorías sobre las que se fundamenta la construcción de la mayoría de los tópicos del currículo de la química. Adicionalmente, se incluye un breve resumen acerca de los estudios sobre las concepciones alternativas que los estudiantes traen a la clase de la discontinuidad de la materia.

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA, EJE FUNDAMENTAL PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LOS TÓPICOS DEL CURRÍCULO DE LA QUÍMICA

La comunidad de educación en ciencias considera que la esencia del núcleo de la discontinuidad de la materia puede ser recogida en una sola proposición: «la materia consiste de partículas llamadas moléculas que están en constante movimiento y entre las cuales existe un espacio vacío». Desde luego, en esta se pueden evidenciar las principales ideas que configuran el constructo en cuestión (por ejemplo, vacío entre partículas, movimiento intrínseco, discontinuidad de la materia, entre otras.) Adicionalmente, estas ideas juegan un papel clave en la estructuración del currículo de la química, ya que fundamentan los diferentes tópicos de dicha disciplina (Candela, 2012).

Por lo general, el núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia es considerado por los especialistas de la química como un constructo simple y fácil de entender. No obstante, este constructo le ocasiona a los estudiantes de la escuela secundaria y primeros años de universidad fuertes dificultades a la hora de lograr su comprensión. Además, en pocas ocasiones los estudiantes hacen uso adecuado de este modelo teórico para darle sentido a los múltiples fenómenos naturales con los que se enfrentan en su cotidianidad.

Esta situación se origina debido a que los estudiantes explican el funcionamiento de las partículas a partir de las propiedades del mundo macroscópico, en lugar de tratar de comprender el funcionamiento del mundo macroscópico tomando como referencia las interacciones entre las partícu-

las. De ahí que la comunidad de investigadores de educación en química proponga que, para ayudar a los estudiantes a superar dichas dificultades/limitaciones, se deben asumir los dos elementos desarrollados arriba (núcleos y esquemas conceptuales) como sistemas en interacción bidireccional (Pozo & Gómez, 1998).

LA TEORÍA CORPUSCULAR Y LA TEORÍA CINÉTICA PIEDRAS ANGULARES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TÓPICOS DE QUÍMICA

Tanto las revistas de divulgación científica como los textos escolares y universitarios han sido instrumentos a través de los cuales se ha socializado la teoría atómica y la teoría cinética de la materia, con el propósito de que los expertos la internalicen y la utilicen para poder darle sentido a los fenómenos naturales y físicos de su entorno. En efecto, la naturaleza corpuscular de la materia es fundamental para la comprensión de casi todos los tópicos de la química; esta incluye la teoría corpuscular, llamada ahora teoría cinético-molecular, que es la base de las explicaciones de la estructura atómica, el enlace químico, sustancias puras, soluciones, reacciones químicas, equilibrio y energía química.

Ahora bien, conviene destacar que las dos teorías características de los textos escolares y la literatura de la química son: la teoría atómica de Dalton y la teoría cinética; desde luego, la última es la más conocida a nivel de la escuela. No obstante, aunque ambas teorías aparecen en los textos, rara vez son consideradas juntas, además, su descripción es más descriptiva que explicativa (Harrison & Treagust, 2002).

En cuanto a la teoría atómica de Dalton, se puede afirmar que se originó de los trabajos de los grupos de investigadores químicos de las «masas», a los cuales pertenecieron científicos connotados como: Dalton, Lavoisier y Proust, quienes estudiaron las propiedades y relaciones presentes cuando se combinan las masas durante las reacciones químicas (Nash, 1966), esto les permitió determinar las masas relativas de los átomos de diferentes elementos; así pues, estos estudios originaron los siguientes postulados de la teoría atómica:

1. La materia consiste de pequeñas partículas indestructibles llamadas átomos.
2. Todos los átomos de un determinado elemento son idénticos, además, tienen la misma masa.
3. Los átomos de elementos diferentes tienen diferentes masas.
4. La masa de un átomo de un elemento es la misma, en todos los compuestos en los que este haga parte.

5. Partículas de diferentes elementos combinados de acuerdo a una proporción simple, forman partículas de una sustancia llamada compuesto. Además, cuando dos sustancias diferentes reaccionan para formar una tercera sustancia, la masa se conserva durante toda la reacción.

Esta teoría tiene sus fortalezas y debilidades; una «debilidad» fue la consideración de Dalton de que todos los átomos de un mismo elemento tenían las masas atómicas iguales, no obstante, hoy en día se conoce que muchos elementos están constituidos por varios tipos de átomos que tienen el mismo número atómico, pero diferente número de masa, estos átomos se denominan isótopos; sin embargo, todos los átomos que constituyen un elemento reaccionan químicamente de la misma forma. De hecho, los químicos han venido trabajando con la teoría atómica utilizando una masa promedio para los átomos de cada elemento.

Debe tenerse en cuenta que Dalton derivó los aspectos cuantitativos de su teoría desde las leyes del cambio químico. Ahora, se puede ver que su cuarto postulado justifica la *ley de la conservación de la masa*, que afirma que no existe un cambio detectable en la masa a lo largo de una reacción química. Así, durante la reacción química suceden procesos de debilitamiento y fortalecimiento de enlaces químicos de manera concomitante, pero los átomos ni se crean, ni se destruyen y mucho menos se transforman, solo sufren una reorganización debido a las interacciones (Mortimer, 1983).

El quinto postulado de la teoría de Dalton, explica la *ley de las proporciones definidas*, la cual afirma que un compuesto siempre contiene los mismos elementos combinados en las mismas proporciones en masa. Considerando que un compuesto es el resultado de la combinación de átomos de dos o más elementos en una proporción fija, las proporciones por masa de los elementos presentes en el compuesto también son fijas (Mortimer, 1983).

Fundamentándose en esta teoría, Dalton propuso una tercera ley de las combinaciones químicas, la *ley de las proporciones múltiples*. Esta ley considera que cuando dos elementos, A y B, forman más de un compuesto, las cantidades de A que se combinan en estos compuestos con una cantidad fija de B, están en relación de números enteros pequeños (Mortimer, 1983).

Por lo que se refiere a la teoría cinética, esta se origina del mismo problema básico del cual surge la teoría atómica (tratar de explicar la naturaleza corpuscular de la materia), pero focalizándose en el estudio de las propiedades de las sustancias en estado gaseoso, es decir, la *neumática*; donde sus mayores iconos fueron: Boyle, Gay-Lussac y Avogadro (Nash, 1966). Ahora bien, las arduas investigaciones llevadas a cabo por estos hombres de ciencias dieron como resultados los siguientes postulados:

1. Una sustancia en estado gaseoso está compuesta de partículas invisibles entre las cuales existe un espacio vacío. El volumen real de las moléculas individuales es despreciable en comparación con el volumen total del gas como un todo. La palabra molécula se usa aquí para designar la partícula más pequeña de cualquier gas.
2. Las partículas se encuentran equitativamente distribuidas dentro del recipiente que las contiene.
3. Las partículas que constituyen una sustancia en estado gaseoso están constantemente en movimiento (translación, vibración y rotación), además, sus colisiones son perfectamente elásticas, es decir, no se pierde energía cinética durante el choque.
4. El promedio de la energía cinética de las moléculas de un gas depende de la temperatura, y aumenta a medida que la temperatura asciende. Así, a una temperatura dada, las moléculas de todos los gases tienen el mismo promedio de energía cinética.
5. Las partículas que constituyen una sustancia en estado líquido tienen movimientos más lentos que cuando están en el estado gaseoso; ahora, las partículas que constituyen sustancias en estado sólido, solamente tienen movimientos de vibración en una posición fija.
6. Las partículas en el estado gaseoso se encuentran muy alejadas, debido a que las fuerzas de atracción entre ellas son despreciables, no obstante, en el estado líquido y sólido, el espacio entre ellas es muy pequeño, además, el tamaños de estos espacios en el estado sólido y líquido es muy parecido.

Por tanto, la teoría cinética fundamenta las explicaciones de las siguientes leyes de los gases: ley de Boyle, ley de Charles y ley de Gay-Lussac. Así pues, esta teoría proporciona un modelo para explicar la regularidad en el comportamiento de los gases.

Vale la pena señalar que estas dos teorías son históricamente interdependientes, de hecho, el quinto postulado de la teoría atómica en algunas ocasiones se lo suele incluir dentro de la teoría cinética. Adicionalmente, al revisar la literatura se ha podido ver que la teoría atómica se focalizó en propiedades extensivas de la materia, tales como: masa y volumen, mientras que la teoría cinética de los estados se centró en propiedades intensivas como: densidad, presión, temperatura, punto de ebullición, etc.

Después de haber hecho una diferenciación e integración de la teoría atómica y la teoría cinética molecular, se considera pertinente abordar las principales concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes al estudio del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia.

PRINCIPALES CONCEPCIONES ALTERNATIVAS ACERCA DE LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA

Desde el final de la década del 1970 de manera progresiva fueron aumentando los estudios sobre las concepciones alternativas sostenidas por los estudiantes tanto en la educación secundaria como en los primeros años de universidad acerca de los núcleos conceptuales de la química, focalizándose en el de la discontinuidad de la materia. Así, el propósito de estas investigaciones fue el de describir, documentar y explicar las diferentes posturas mantenidas por los estudiantes frente a los fenómenos naturales. Por lo general, los resultados obtenidos desde estos estudios dejaron evidenciar que la concepción continua y estática de la materia está arraigada en el sistema cognitivo del estudiante, además, esta no evoluciona tan fácilmente a otras más sistemáticas, como se pensó en un comienzo, y mucho menos se logra sustituir a través de una larga instrucción.

En este sentido, dado el papel clave que juega el núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia para la enseñanza y el aprendizaje de los tópicos del currículo de la química, hemos tomado la decisión de abordar de manera sucinta en el siguiente apartado las principales concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes al aula de química. Para ello, se han asumido como referencia las grandes ideas en las que los educadores de profesores de química acostumbran a secuenciar y temporalizar la instrucción del núcleo en cuestión, a saber: la discontinuidad de la materia, la existencia del espacio vacío entre las partículas, el movimiento intrínseco de las partículas, los cambios de estado de la materia y los cambios físicos y químicos.

La materia es continua o discontinua

La idea de la discontinuidad de la materia es contraintuitiva, de ahí la dificultad para que los estudiantes puedan internalizarla, dado que su sistema de conocimiento y creencias está condicionado por su sistema sensorial, es decir, esta visión no es la más común entre los estudiantes de primaria, secundaria e incluso de los primeros años de universidad; muchos de ellos mantienen una conceptualización de la materia continua, al igual que lo hizo Aristóteles y varios científicos occidentales.

Ahora, los estudios sobre la estructura de la materia se han focalizado en averiguar cuál es la visión que tienen los estudiantes sobre este tópico: ¿materia continua o discontinua? Desde luego, los resultados de muchas investigaciones han dejado ver que los aprendices después de la instrucción utilizan de manera espontánea una concepción discontinua de la materia

por ejemplo, el realismo interpretativo (Pozo, 1998); no obstante, le asignan propiedades del mundo macroscópico a las partículas, lo que hace pensar que estos interpretan los modelos científicos a partir de sus ideas implícitas, produciendo una indiferenciación entre los niveles de representación macroscópico y submicroscópico.

Novick y Nussman (1978) investigaron a estudiantes del nivel elemental y secundario, con el propósito de determinar las concepciones alternativas acerca de la naturaleza corpuscular de la materia, encontrando que la mayoría de los aspectos de la teoría cinética que fueron fácilmente aceptados por los estudiantes están correlacionados con el nivel de representación macroscópico (fenómenos perceptibles por el sistema sensorial). Por ejemplo, la idea de la licuefacción de los gases, según la cual las partículas se acercan las unas a las otras, fue internalizada al menos por el 70 % de los estudiantes del nivel secundario superior y más allá, de hecho, aquí la explicación corpuscular no genera conflicto con el fenómeno observado. Sin embargo, solamente el 40 % de los estudiantes en el mismo grupo aceptó el concepto que señala que entre las partículas de una sustancia en estado gaseoso existe un espacio vacío; en efecto, este concepto no es tan obvio debido a que pertenece al nivel de representación submicroscópico.

Nakhleh (1994) realizó un estudio en el cual entrevistó a aprendices del grado once de química que habían abordado el tópico de ácidos y bases a lo largo del año escolar; los resultados dados por la investigación permitieron evidenciar que el 20 % de los estudiantes todavía sostenían visiones reduccionistas y poco diferenciadas de la materia. De hecho, cuando se les interrogó sobre cómo una solución de ácido o base se vería a través de unas poderosas gafas mágicas, ellos dibujaron ondas, burbujas o claros pedazos de solución, así pues, estas representaciones dejaron ver las concepciones continuas de la naturaleza de la materia, a pesar de haber recibido una instrucción en este tópico. Ahora bien, los resultados de la investigación mostraron que más o menos la mitad de los aprendices del nivel universitario y de secundaria superior sostienen conceptos que fueron consonantes con una percepción de la materia como un medio continuo, más que como una agregación de partículas.

Ben-Zvi, Eylon y Silberstein (1986) usaron un cuestionario para investigar las creencias en relación a la naturaleza de la materia expresadas por 300 estudiantes de décimo grado que habían estado estudiando química a lo largo de medio año académico. El cuestionario le pidió a los estudiantes comparar las propiedades de dos átomos: uno, tomado de una pieza de alambre de cobre y el otro, aislado desde el gas que había formado cuando el alambre de cobre fue vaporizado. La mitad de los estudiantes creyó que

las propiedades macroscópicas de la sustancia, tales como: conductividad eléctrica, color, olor y maleabilidad, fueron propiedades también exclusivas de un átomo. Aparentemente, aunque los estudiantes utilizaron los términos de «átomo» y «molécula», no pudieron relacionarlos con el modelo corpuscular de la materia; esto indicó a los investigadores que los aprendices aún mantenía sus viejos modelos continuos de la materia, a pesar de haber recibido una instrucción signada por un marco teórico constructivista. Se evidenció que los estudiantes interpretaron el modelo corpuscular de la materia a partir de sus concepciones alternativas, lo que hizo que la teoría corpuscular sufriera una transformación en el momento de integrarse a la estructura cognitiva del sujeto.

Griffiths y Preston (1992) estudiaron a estudiantes de grado 12.º en Canadá, con la intención de determinar su comprensión acerca de los tópicos de moléculas y átomos, identificando las siguientes cinco categorías de concepciones alternativas:

- Las moléculas son mucho más grandes de lo que ellas probablemente parecen.
- Las moléculas de la misma sustancia pueden variar en tamaño.
- Las moléculas de la misma sustancia pueden cambiar de forma en las diferentes fases.
- Las moléculas tienen diferentes pesos en las diferentes fases.
- Los átomos tienen vida.

Griffiths y Preston (1992) concluyeron que un alto porcentaje de los aprendices estudiados sostienen una concepción alternativa según la cual las partículas están en contacto y no hay espacio vacío entre ellas. Adicionalmente, los autores afirman que estas concepciones han sido originadas tanto por el sistema sensorial como por la instrucción.

Johnson (1998) estudió la evolución progresiva de la comprensión que tienen los niños de la naturaleza corpuscular de la materia, encontrando en ellos diferentes categorías del modelo de partícula, a saber:

- La sustancia es continua (modelo X).
- Las partículas son contenidas en una sustancia continua (modelo A).
- Las partículas son la sustancia, pero le asigna las características macroscópicas (modelo B).
- Las partículas son la sustancia y las propiedades del estado son colectivas (modelo C).

Los resultados de la investigación, llevada a cabo con estudiantes de edades entre los once y catorce años, le permitieron a Johnson (1998) categorizar a la

mayoría de los estudiantes en los modelos X, A o B, lo anterior es coherente con la idea restringida de que las moléculas están en las sustancias, más que con aquella que sostiene que las sustancias están compuestas de moléculas.

Andersson (1990) y Harrison (2001) estudiaron las concepciones alternativas acerca de la naturaleza de la materia que sostienen los estudiantes en edades entre de los doce y los dieciséis años, además, llevaron a cabo una revisión de los textos escolares sugeridos por las políticas estatales para la enseñanza de la química, partiendo de allí pudieron evidenciar que en los textos aparecen diagramas como el de la Figura 3.1, en donde la línea de la superficie del diagrama implica que las partículas están suspendidas en otras sustancias; de hecho, este modelo analógico de la discontinuidad de la materia refuerza la concepción alternativa sobre el hecho de que la sustancia no está compuesta de partículas, sino que esta las contiene. Sugieren que, para corregir este modelo representacional, la matriz de la materia necesita ser claramente reemplazada con espacios y superficies vacías, así mismo, se deben remover los límites para evitar inducir concepciones alternativas.

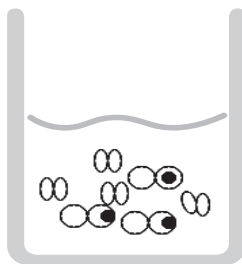


Figura 3.1. Diagrama de una mezcla de un elemento diatómico y un compuesto en donde se representa la superficie de la sustancia a través de una línea, significando que las partículas están suspendidas en otra sustancia

Fuente: Harrison, A. G., 2001.

El movimiento de las partículas de una sustancia es causado por un agente externo (causalidad lineal)

El movimiento intrínseco de las partículas es una de las grandes ideas de la teoría cinético-corpúscular que más dificultad ha presentado al momento de ser internalizada por los aprendices tanto de secundaria como de universidad, puesto que perciben a la materia a través de su sistema sensorial en un estado inerte y de reposo, que podría tener un movimiento aparente solamente si es generado por un agente externo, por lo tanto, las concep-

ciones alternativas del movimiento de las partículas son muy consistentes y resistentes a ser modificadas.

La literatura ha dejado ver que la aceptación de la idea del movimiento intrínseco de las partículas posee un carácter diferencial, dado que se ha podido observar que los estudiantes internalizan más fácilmente el movimiento intrínseco de las partículas de sustancias en fase gaseosa o líquida que en la fase sólida; así pues, una de las posibles causas de esta comprensión diferencial es que los estudiantes no distinguen el movimiento intrínseco de las partículas que componen la sustancia del movimiento aparente de esta última (apariencia perceptiva). Por ende, los estudiantes le confieren un movimiento intrínseco a las partículas de una sustancia en la fase gaseosa, pero no a las sustancias en fase sólida; asimismo, a los líquidos les atribuyen movimientos, pero asumiendo que solo pueden ser causados por un agente externo, de lo contrario, asumen que este está en reposo. De lo anterior se infiere que la variable relevante para juzgar el estado de movimiento de las partículas no es tanto los estados de agregación como el movimiento aparente (Pozo & Gómez, 1998).

La gran mayoría de los estudiantes de secundaria de grado sexto (15 escuelas) estudiados por Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer & Blakeslee (1993) sostuvieron una concepción intuitiva de acuerdo a la cual las partículas de una sustancia en fase gaseosa no poseen movimientos intrínsecos, así que para trasladarse de un sitio a otro necesitan de un agente externo (causalidad lineal y unidireccional) que les permita tal movimiento; por ejemplo, el movimiento de las partículas de gas en la atmósfera es atribuido al aire, como un agente causante de tal efecto. También, los estudiantes consideran que un gas confinado en un recipiente hermético, al ser calentado, se vuelve menos pesado, entonces ascenderá, concentrándose en la parte superior del recipiente (Lee et al., 1993).

De la misma manera, los estudios realizados por Novick & Nussbaum (1981) dejaron ver que muchos aprendices poseían la concepción de que si una cantidad de gas es succionada fuera del recipiente que los contiene, el residuo no llenaría de forma aleatoria todo el espacio del recipiente, como lo afirma el modelo cinético de la materia; no obstante, al aumentar el nivel de instrucción a los estudiantes, se evidencia un incremento en el número de respuestas que consideran una distribución uniforme de las partículas. Ahora, también destacaron que en el nivel preuniversitario y universitario el número de aprendices que eligieron el ítem de la distribución aleatoria no alcanzó el 50 %, concluyendo que lo anterior se debe a una concepción continua y estática de la materia.

Fensham (1994) considera que para enseñar la teoría cinética de la materia los profesores generalmente utilizan tópicos del currículo de la química tales como gases, cambios de estado y propiedades de la materia, por cuanto suponen que los estudiantes pueden aplicar con mayor facilidad la teoría cinética frente a situaciones en las que la materia se encuentran en la fase gaseosa, no obstante, cuando intentan usar la teoría para darle solución a problemas en donde la sustancia se encuentra en fase sólido o líquida, aumenta la dificultad para extrapolarla.

Stavy (1988) afirma que los aprendices internalizan de forma progresiva el modelo cinético molecular, así pues, los estudiantes de los grados de 4.º a 7.º primeramente explican el comportamiento de los gases en términos descriptivos; posteriormente, los niños de los grados 7.º y 8.º le atribuyen a los gases características materiales. Ahora, después de haber transcurrido varios años de instrucción, los estudiantes de grado 9.º logran utilizar el modelo cinético molecular para explicar las propiedades del estado gaseoso. Adicionalmente, Stavy evidenció que, a pesar de haber recibido una instrucción, los estudiantes no logran extrapolar la teoría corpuscular a otras situaciones; esto hace que encuentren difícil explicar el comportamiento de las sustancias en estado sólido o líquido, a pesar de poder darle sentido a los fenómenos naturales en los que participan sustancias en la fase gaseosa.

El espacio de las partículas en los tres estados de la materia

Una de las grandes ideas del núcleo conceptual de la discontinuidad de materia es la existencia de un espacio vacío entre las partículas, no obstante, este resulta contra intuitivo para los aprendices, ya que no pertenece al nivel de representación macroscópico, sino submicroscópico. De hecho, esta idea no solamente planteó dificultades para poder ser internalizada por los aprendices, además presentó a lo largo de muchos años resistencia a ser aceptada por la comunidad de investigadores en química (Nash, 1966). De ahí que muchos investigadores de educación en ciencias hayan decidido estudiar las concepciones alternativas que traen los estudiantes a la clase acerca de este concepto, debido a que es una de las grandes ideas que, además de «resistirse» a que los aprendices la diferencien y la integren a su estructura cognitiva, es un pilar fundamental para comprender las propiedades y transformaciones de la materia (Stavy, 1988).

Novick y Nussbaum (1978) realizaron un importante estudio germinal acerca de las concepciones que sostienen los estudiantes sobre la naturaleza corpuscular de la materia, para lo cual expusieron a los niños ante un fenómeno de expansión del aire en un tubo y, posteriormente, les pidieron que representaran gráficamente el comportamiento de la sustancia dentro del

frasco; en efecto, los modelos representacionales hechos por los aprendices permitieron observar que muchos de ellos tienen dificultades para concebir el espacio vacío entre las partículas.

Pozo & Gómez (1998) afirman que el aprendiz acepta con más facilidad la idea de vacío en aquellas sustancias que se encuentran en estado gaseoso, negando la existencia de esta idea cuando se trata de sustancias en estado sólido, y terminan por situar a los líquidos en un nivel intermedio de dificultad. Nuevamente consideran como la causa de este fenómeno la indiferenciación entre la percepción macroscópica y el análisis submicroscópico. Dicho de otra forma, el que la materia adopte una apariencia más compacta, hace que los estudiantes rechacen la existencia de un vacío entre las partículas que la componen; en cambio, cuando la materia adopta una apariencia más difuminada, los aprendices aceptan que existe un vacío entre las partículas; ahora, en los líquidos la interpretación hasta el momento no ha sido muy clara, quizás esto obedece a su indefinición fenomenológica.

En cuanto a las concepciones alternativas más frecuentes que sostienen los estudiantes acerca del espacio vacío, Pozo & Gómez (1998) pudieron evidenciar las siguientes: (a) en el estado sólido, entre las partículas no hay nada o hay más partículas de la misma especie; (b) en los líquidos emergen diferentes ideas sin una pauta concreta, y (c) en el estado gaseoso, entre las partículas hay aire.

Cambios de estado físicos

Desde sus primeros años de vida el sistema sensorial del sujeto está en interacción con fenómenos relacionados a los cambios de fase, y a partir de ellos construye sus primeros modelos intuitivos que describen los tres estados en que se encuentra la materia, no obstante, en muchos casos estos modelos alternativos no coinciden con los modelos teóricos de la ciencia. A causa de lo anterior, la comunidad de investigadores de educación en ciencias se interesó en identificar y documentar el concepto que el estudiante tiene de los tres estados de la materia y analizar en qué medida se alejan o no de las nociones científicas de sólido, líquido y gas.

Lee et al. (1993) estudiaron 15 clases de grado sexto, las cuales fueron orientadas por profesores a lo largo de dos años consecutivos; el propósito de la investigación fue el de estudiar el cambio de la comprensión a nivel teórico de los estudiantes en relación a la naturaleza de la materia antes y después de la instrucción. Ahora bien, Lee et al. (1993) evidenciaron en el pretest y en el postest que, cuando se les pide a los estudiantes describir los tres estados de la materia a nivel macroscópico, estos frecuentemente usan las propiedades macroscópicas para hacerlo; estas se traducen, entre otras, en las siguientes

conjeturas: los sólidos son duros y densos, los líquidos mojan y fluyen, y los gases son invisibles y ligeros.

En cuanto a las explicaciones a nivel molecular dadas por los estudiantes, previo a la instrucción, Lee et al. (1993) declararon que muy pocos estudiantes movilizaron explicaciones científicas para darle sentido a los cambios de fase que sufren las sustancias, incluso después de un año de instrucción; señalaron que muchos aprendices no intentaron explicar los cambios de estado en términos moleculares, sino que usaron las propiedades macroscópicas de la materia para describir estos procesos. Adicionalmente, otros utilizaron términos como «molécula» para expresar las concepciones no canónicas a nivel macroscópico, pero sin insertarlos dentro de una teoría científica.

En cuanto a los datos cuantitativos generados en este estudio, se registran los siguientes: antes de la instrucción casi ningún estudiante pudo dar explicaciones a nivel molecular de los cambios de estado: 3 % en 1 año y 1,2 % en 2 años. Aunque resulta significativo que después de dos años de instrucción muchos estudiantes demostraron una comprensión de los cambios de estado (41 %) en comparación con el primer año (28 %), todavía buena parte de los aprendices siguió teniendo dificultades para comprender los cambios de estado a nivel molecular.

En conclusión, explicar los cambios de fase a nivel molecular es una de las tareas de mayor dificultad a las que se enfrentan los estudiantes, puesto que ellos no han podido asumir una diferenciación e integración del mundo macroscópico y el mundo submicroscópico, hecho que los lleva a atribuirle propiedades observables del estado físico a las moléculas. Asimismo, se ha considerado que, para que los estudiantes puedan desarrollar modelos explicativos a nivel molecular acerca de los cambios de estado, los profesores deben diseñar actividades de enseñanza en las cuales se articulen las ideas del movimiento intrínseco y el arreglo de las partículas, con los esquemas conceptuales de interacción de sistemas, conservación y equilibrio; de forma que durante la instrucción se explicita la integración e interacción de estos elementos, y de esta manera el estudiante pueda lograr una diferenciación entre los niveles de representación macroscópico y submicroscópico (Pozo & Gómez, 1998).

Asignar propiedades del nivel de representación macroscópico al nivel de representación submicroscópico

Griffiths y Preston (1992), en sus investigaciones acerca de la naturaleza corpuscular de la materia, pudieron ver que los estudiantes, al ser enfrentados a problemas que recogían los cambios de estado, le asignaban propiedades del mundo perceptible a las partículas; por ejemplo, cuando las sustan-

cias son calentadas o enfriadas, muchos estudiantes creen que las partículas se dilatan o contraen al igual que lo hace la sustancia a nivel macroscópico que integran. Así pues, esta concepción es coherente con la postura intuitiva del estudiante respecto a la naturaleza continua de la materia, de acuerdo a la cual percibe las partículas juntas y no concibe espacio entre ellas. Ahora, si la sustancia está en la fase sólida, sus partículas están en contacto; luego el aprendiz no podrá explicar científicamente la propiedad de la compresión y dilatación de los objetos, y deberá hacer uso de las reglas simplificadoras o esquemas heurísticos de contracción o expansión de las partículas, ya que no hay espacio libre para disminuirlo.

Pozo & Gómez (1998) afirman que por lo general los estudiantes tienden a asignarle a las partículas propiedades del mundo macroscópico, puesto que estos no pueden hacer una diferenciación entre la percepción del mundo macroscópico y el análisis submicroscópico, es decir, interpretan el mundo submicroscópico a partir de las propiedades del mundo macroscópico; por ejemplo, cuando el agua se evapora dicen que las moléculas se evaporan, y en el caso de los elementos metálicos, les atribuyen propiedades de maleabilidad, conductividad eléctrica y color a los átomos de estos elementos.

Conservación de propiedades no observables durante los cambios físicos

Lee et al. (1993) estudiaron aprendices de sexto grado lo largo de dos años consecutivos para determinar las concepciones de la teoría cinética de la materia tanto a nivel macroscópico como submicroscópico, para lo cual aplicaron un pretest y un postest de lápiz-papel antes y después de la instrucción; además, emplearon los instrumentos de la observación y la entrevista como medios de recolección de datos. A través del análisis de los datos, Lee et al. (1993) evidenciaron los modelos intuitivos que sostenían estos estudiantes a nivel macroscópico y molecular; ahora, los resultados dejaron ver que a nivel macroscópico algunos de ellos no comprenden la conservación de la materia durante los procesos de disolución, por ejemplo, algunos pensaron que, cuando el azúcar se mezcla con el agua, esta se evapora o se derrite; otros estudiantes conceptualizaron que, como el azúcar se disolvió en el agua, esta dejó de existir. Estas concepciones llevan a pensar que los aprendices consideran que la naturaleza de la sustancia «azúcar» viene determinada por las propiedades macroscópicas; por ello, cuando el azúcar cambia su forma, tienen la creencia de que deja de ser azúcar.

Ahora, en cuanto a las explicaciones a nivel molecular, se evidenció que casi ningún estudiante antes de la instrucción las utilizó para darle sentido

al fenómeno de la disolución, en cambio, después de la enseñanza de este tópico, muchos aprendices usaron el lenguaje molecular, pero para expresar las concepciones intuitivas descritas arriba a nivel macroscópico. Lo anterior llevó Lee et al. (1993) a considerar que los estudiantes investigados no han desarrollado los esquemas conceptuales de interacción, conservación y equilibrio lo suficiente, por lo tanto, se les dificultó diferenciar las nociones de la conservación de la masa y de la sustancia.

Igualmente, se señala la investigación que Driver (1999) llevó a cabo con estudiantes ingleses de edades entre los nueve y los catorce años, con el propósito de capturar el esquema de conservación de la masa, enfrentándolos con la siguiente situación: se les muestra una determinada masa de azúcar disolviéndose en una cantidad determinada de agua, interrogándolos acerca de la masa de la solución. Los datos recogidos dejaron ver que aproximadamente $\frac{2}{3}$ de los estudiantes sostienen la idea de que la masa de la solución sería menor que la suma de las masas iniciales de azúcar y de agua.

Un estudio similar se realizó con estudiantes ingleses y suecos de quince años (unos habían cursado química dentro de su bachillerato y otros no) a los que se les pidió que dijeran cuál sería la masa de una solución formada por 200 g de azúcar y 1000 g de agua, y que explicaran su respuesta. El análisis de los resultados mostró que alrededor de $\frac{1}{3}$ de los aprendices afirmaron que la masa de la solución sería la misma de la de sus componentes, sustentando sus respuestas en la siguiente idea: a pesar de que no se percibe el azúcar (se disuelve), esta permanecía en el recipiente. No obstante, el resto de los estudiantes sostuvieron la concepción alternativa que sostiene que la solución tendría una masa menor que la de sus componentes, fundamentando su postura en diversas razones: (a) el azúcar desaparece al disolverse (la masa de la solución es la misma del agua); (b) el azúcar se disuelve, pero queda entre los espacios de las moléculas de agua (la mezcla cambio del mundo macroscópico al mundo submicroscópico); (c) el azúcar está todavía presente en la solución, pero es más «ligero». Estas respuestas permiten apreciar que el hecho de que no se haya conservado la masa no indica necesariamente que el azúcar haya desaparecido.

En un estudio realizado con 1000 estudiantes escoceses con edades comprendidas entre los doce y trece años, se los enfrentó a tareas en las que debían extrapolar sus ideas a nivel molecular para describir los estados físicos de la materia. El propósito de la investigación fue el de identificar, representar y formular la manera en que los estudiantes comprendían la naturaleza de la materia a nivel submicroscópico.

En el estudio se les pidió a los aprendices que realizaran modelos representacionales para mostrar la forma, la disposición y la distribución de las

partículas en el espacio (átomos o moléculas) de varias sustancias en los estados físicos sólido, líquido y gaseoso. De los resultados finales se deriva que todos los estudiantes utilizaron los símbolos de puntos o círculos para representar las partículas, no obstante, la mitad de la muestra discriminó el diámetro de los círculos que representaban las partículas que componen las sustancias en los estados sólido, líquido y gaseoso, este decreció de manera progresiva al pasar de una fase a otra, este hecho permitió identificar la concepción intuitiva sobre la disminución del tamaño que sufren las partículas al cambiar de un estado a otro, es decir, se asume que estas se transforman, por lo tanto, no se conserva la sustancia ni la masa. Adicionalmente, se determinó la concepción intuitiva que sostienen los estudiantes respecto al mayor peso de los sólidos frente a los líquidos, y de estos últimos comparados con los gases (Driver, 1999).

La conservación de las propiedades no observables durante los cambios químicos

La química es una ciencia cuyo principal propósito es la descripción y explicación de los cambios químicos, ahora, la impartición del concepto de reacción química es considerado por los profesores de química como un objetivo de mayor importancia en la enseñanza de esta disciplina, asimismo, todos los enseñantes deberían ser conscientes de la complejidad que entraña el aprendizaje de este tópico. Debe tenerse en cuenta que una de las dificultades a la cual se enfrentan los aprendices en los cursos de química es la conceptualización de la ley de la conservación de la masa, debido a que se necesita haber desarrollado los esquemas conceptuales de interacción, conservación y equilibrio (Pozo & Gómez, 1998), que son los que subyacen la construcción de la ley de la conservación de la masa, de hecho, la comprensión científica y aplicación de esta ley en las reacciones químicas se les dificultan a muchos estudiantes de todo el mundo.

Desde un punto de vista científico, la comprensión del principio de la conservación de la masa, además del conocimiento de la teoría general de las reacciones químicas, es un eje vertebrador que influye en el aprendizaje de muchos de los tópicos que se abordan en la química (2000). De hecho, en la literatura se encuentra una gran cantidad de información que aborda las concepciones alternativas que los estudiantes sostienen en relación a la conservación de la materia (Yarroch, 1985).

Stavy (1990) estudió el problema de la comprensión de la conservación de la materia en los estudiantes de secundaria, a través de tareas que involucraban los procesos de fusión, disolución y evaporación, encontrando resultados contradictorios, pues algunas tareas que afrontaron

los estudiantes pudieron ser resueltas con éxito, al tiempo que fallaron en otras; esto llevó a declarar que las operaciones lógicas resultan insuficientes para explicar las concepciones intuitivas de los estudiantes acerca de este tópico, puesto que la existencia de un sistema alternativo de conocimiento condiciona la capacidad del estudiante para comprender la conservación.

Driver (1999) estudió a aprendices ingleses de quince años de edad a quienes se les enfrentó ante la siguiente situación problema: un trozo de fósforo es puesto en una porción de agua dentro de un matraz, el cual se sella herméticamente y se calienta al sol hasta que el cerrillo se inflama. Ahora, el humo blanco producido se disuelve en el agua poco a poco; una vez enfriado, el matraz fue pesado con su contenido. Se interroga a los aprendices sobre si la masa final sería la misma, mayor o menor que la inicial. Los resultados del estudio demostraron que 1/3 de los estudiantes respondió que la masa no cambiaba, ya que el frasco estaba sellado; el 16 % pensó que la masa podría decrecer y un 6 % consideró que la masa aumentaba.

En cuanto al balanceo de las ecuaciones químicas, Yarroch (1985) estudió las concepciones alternativas que sostenían estudiantes de secundaria; para ello, les planteó el siguiente ejercicio:

¿Cómo podrías balancear la siguiente ecuación: $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3$?

Realiza un diagrama representacional a nivel submicroscópico de la ecuación después de haber sido balanceada.

Vale la pena decir que todos los estudiantes tuvieron éxito con el balanceo de las ecuaciones, sin embargo, la mitad de ellos no pudo representar correctamente un diagrama molecular para explicar las ecuaciones en el sistema submicroscópico. Aunque los estudiantes que no tuvieron éxito fueron capaces de dibujar diagramas con el número correctos de partículas, parecieron ser incapaces de usar la información contenida en los coeficientes y subíndices para construir las moléculas, por tal razón, la mayoría de los estudiantes representaron a 3H_2 de la manera en que se aprecia en la Figura 3.3.

Ahora, esta conceptualización aditiva de las ecuaciones químicas coincide con los resultados arrojados por el estudio llevado a cabo por Ben-Zvi, Eylon & Silberstein (1987), quienes notaron que los estudiantes asumían mayormente que los compuestos estaban formados por fragmentos pegados, por sobre la idea de que estos son sintetizados a partir del debilitamiento y fortalecimiento simultáneo de enlaces químicos (ver Figura 3.4).

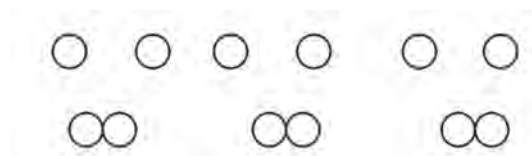


Figura 3.3. Ilustración de la falta de los estudiantes de la comprensión del propósito de los coeficientes y subíndices en las fórmulas y ecuaciones balanceadas

Otra fracción minoritaria de los estudiantes realizó la siguiente representación:

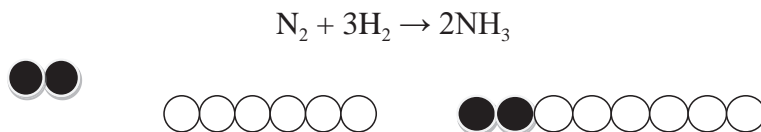


Figura 3.4. Representación del concepto de la naturaleza submicroscópica de la reacción entre el nitrógeno y el hidrógeno

Vale la pena destacar que, para que los estudiantes comprendan el poder de la teoría cinética molecular, lo primero que deben de hacer es internalizar las grandes ideas planteadas arriba; así pues, deberían de comprender que muchas de las propiedades macroscópicas de la materia son el resultado del rearrreglo y los movimiento de las partículas, asimismo, esto les permitiría entender los cambios físicos y químicos que tanta dificultad han presentado a los estudiantes históricamente. Además, comprender que las propiedades percibidas a través del sistema sensorial vienen condicionadas por los cambios en el arreglo y movimiento de las moléculas, sujetos a las interacciones entre ellas o con otras moléculas pertenecientes a otro sistema con el que interaccionan. Desde luego, muchos aprendices tiene dificultad para comprender la naturaleza de la materia en términos moleculares; por ello, tienden a describir las moléculas con las mismas propiedades observables de las sustancias, por ejemplo, para ellos las moléculas que componen las piedras son duras, las moléculas del hielo están frías, las moléculas del agua hirviendo están calientes, o las moléculas se expanden, contraen, derriten, evaporan o se condensan.

Finalmente, la literatura acerca de las concepciones alternativas y el cambio conceptual en sus diferentes versiones, ha dejado evidenciar dos hipótesis fundamentales que influyen en la toma de decisiones curriculares e instruccionales y, por ende, en la efectividad de la enseñanza de la química, a saber:

- (a) La teoría del cambio conceptual en sus diferentes perspectivas puede y debería jugar un papel esencial en el desarrollo curricular, es decir, los materiales de enseñanza basados en estas teorías marco podrían aumentar el nivel de efectividad del trabajo del maestro, incluso en condiciones adversas. De hecho, los profesores más preparados afrontan grandes y fuertes dificultades, si desean enseñar de manera comprensiva, cuando fundamentan su acto educativo en un marco teórico tradicional y los actuales materiales comerciales.
- (b) Existe una enorme brecha en el currículo actual de la enseñanza de la química tanto en el nivel de la educación primaria como la del bachillerato. Ciertamente, la literatura de la enseñanza de la química ha dejado ver que el núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia es un prerrequisito para poder comprender significativamente los diferentes tópicos abordados por los textos escolares y por el currículo de esta disciplina. Adicionalmente, se ha podido inferir que la mayoría de los estudiantes no conocen lo suficiente acerca de la naturaleza y constitución de la materia, además, no han desarrollado los esquemas conceptuales, en consecuencia, se les dificulta darle sentido a los diferentes fenómenos químicos.

Después de haberse hecho un planteamiento del problema a estudiar, que permite tener un marco conceptual de referencia que oriente nuestras acciones, nos parece pertinente plantear la hipótesis en la siguiente sección.

**INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS QUE
PERMITEN LA CAPTURA, DOCUMENTACIÓN
Y REPRESENTACIÓN DEL CPC DE UN
PROFESOR EJEMPLAR**

Por lo que se refiere a la metodología e instrumentos usados en los estudios de la captura, documentación y representación del CPC de profesores experimentados y «ejemplares» de ciencias, se puede afirmar que son similares e independientes al foco particular de la disciplina; así pues, la mayoría de los diseños de investigación son estudios de caso, constituidos por entre 1 y 20 integrantes. Adicionalmente, los instrumentos de indagación más utilizados por este tipo de investigaciones son los cuestionarios, las entrevistas, los mapas conceptuales, la observación participante, el pensamiento en voz alta y la técnica del estímulo del recuerdo (De Jong, Veal & Van Driel, 2002).

De ahí que, a lo largo de las fases del ciclo instruccional investigado (planeación, enseñanza y reflexión), se implementan las anteriores herramientas de recolección de datos, que suministran la información a través de los registros de notas de audio y video, además de las transcripciones y relatos descriptivos, que posteriormente son interpretados y analizados, dando como producto final la explicitación de los pensamientos, juicios, tomas de decisiones y acciones inteligentes llevadas a cabo por los sujetos investigados durante alguna de las fases en cuestión; de hecho, los anteriores acontecimientos se representan y formulan por medio de proposiciones, declaraciones y relatos narrativos verosímiles que dan origen al contenido de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs (Loughran et al., 2000), cuya interacción bidireccional captura, documenta

y representa el CPC de un maestro ejemplar cuando planea, enseña y reflexiona acerca de un tópico específico.

Debe considerarse que la aplicación de los anteriores métodos para recoger los datos requiere de una alta inversión de tiempo, adicionalmente, el análisis de la información proveniente de estas fuentes es multifacético e intrincado, por estas razones la mayoría de estos estudios solamente involucran un número pequeño de participantes; quizás, este aspecto puede ser considerado un punto débil de esta clase de investigación; no obstante, muchos de estos estudios tienen un diseño naturalístico (Guba & Lincoln, 1982) que contribuye a darle una validez ecológica a los datos, característica que puede ser vista como una fortaleza.

Finalmente, en este libro nos focalizaremos en la forma en que debería ser utilizado el contenido del CPC capturado, documentado y representado a través de la interacción bidireccional de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs a lo largo de las fases de preparación, inducción y desarrollo profesional de los programas de educación continuos diseñados por los educadores de profesores, para que los maestros tengan la oportunidad de seguir aprendiendo a enseñar a lo largo de su vida. Dicho de otra manera, el contenido de la CoRe y los PaP-eRs jugarían un papel clave como materiales curriculares de dichos programas de formación, que direccionarían el desarrollo profesional tanto de los estudiantes-profesores como de los enseñantes en ejercicio.

En la próxima sección se conceptualiza la naturaleza, el origen y la función de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs, los cuales fueron diseñados por Loughran et al. (2000) a partir del marco teórico de los estudios de casos.

LA CoRe Y LOS PaP-eRs COMO INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS ÚTILES PARA CAPTURAR, DOCUMENTAR Y REPRESENTAR EL CPC DE UN PROFESOR EJEMPLAR ACERCA DE UN TÓPICO ESPECÍFICO

En las secciones anteriores se delinearon unas asunciones que destacan la importancia de capturar, documentar y representar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) de algunos tópicos del currículo de la química para utilizar este conocimiento como material curricular dentro de los programas de educación continua de profesores en formación y en ejercicio (Verloop et al., 2002; Van Driel, Verloop & de Vos, 1998; Drechsler & Van Driel, 2008; Garritz & Trinidad-Velasco, 2006; Loughran, Mulhall & Berry, 2004), y de esta forma poder asistir a los enseñantes en la identificación y desarrollo del CPC de dicha disciplina.

Es pertinente anotar que los pioneros en esta clase de investigaciones sobre la elicitación y representación del CPC de maestros experimentados y ejemplares son Loughran et al. (2000), quienes realizaron los primeros estudios enmarcados en esta nueva línea de investigación en educación en química; para ello, utilizaron inicialmente la metodología de estudios de caso, sin embargo, detectaron que este tipo de instrumento de indagación no les permitía capturar, documentar y representar los pensamientos, juicios, tomas de decisiones y acciones llevadas a cabo por un profesor ejemplar cuando planea y enseña un tópico específico del currículo de la química, como previamente se lo habían presupuestado. En consecuencia, el equipo de Loughran asumió la tarea de diseñar, implementar y validar unos instrumentos metodológicos de nombre CoRe y PaP-eRs, para lo que utilizaron el marco teórico que fundamenta la metodología por estudios de caso, de hecho, estas herramientas metodológicas sí les permitieron alcanzar las metas y propósitos de su investigación.

En seguida se presenta y amplía la conceptualización de la naturaleza, estructura lógica y función de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs.

Representación del contenido (CoRe)

La CoRe es un resumen de cómo un profesor enseña un tópico específico y de las razones por las que lo enseña de esa manera. Así pues, estas representaciones permiten recopilar el CPC del profesor de ciencias sobre un tópico específico y revelan su intuición a la hora de tomar las decisiones curriculares e instruccionales durante la planificación, actuación y reflexión (ver Anexo 2); de hecho, esta relaciona los elementos claves del acto educativo, a saber: los estudiantes, el contenido específico y la práctica de los profesores (Mulhall, Berry & Loughran, 2003).

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que la CoRe es un instrumento que permite la discusión acerca de la comprensión que tienen los profesores de ciencias de los aspectos del CPC de un tópico específico, es decir, a través de su implementación se logra que el docente explicita los siguientes elementos: a) un resumen de las «grandes ideas»¹ para la ense-

¹ En el campo de la ciencia, frecuentemente se les llama «grandes ideas» a aquellas que han tenido un impacto profundo en las formas que tienen los científicos de comprender y conceptualizar el mundo. Pero en el presente texto no se emplea con este mismo sentido, para nosotros esta expresión representa las ideas de la ciencia que el profesor percibe como eje fundamental para que un grupo determinado de estudiantes pueda comprender determinado tópico. Sin embargo, una gran idea de la enseñanza de la ciencia, puede también ser la misma gran idea de la ciencia (Mulhall et al., 2003).

ñanza de un tópico; b) concepciones alternativas de los estudiantes sobre la idea; c) limitaciones y dificultades conectadas con la enseñanza de esta idea; d) comprensión que tienen los estudiantes de esta idea; e) aspectos que condicionan la enseñanza-aprendizaje de esta idea; f) estrategias instruccionales de esta idea, y g) conocimiento de la evaluación del tópico específico. Es importante aclarar que las *representaciones del contenido* (CoRe) se enmarcan en la enseñanza de un contenido específico para un grupo particular de estudiantes.

Se destaca que el marco teórico que orientó a Loughran et al. (2000) para el diseño de estos instrumentos metodológicos se distinguió por fundamentarse en una perspectiva constructivista del aprendizaje, la cual conceptualiza que la enseñanza para la comprensión precisa que el profesor vincule el conocimiento del desarrollo de la ciencia con el conocimiento de los aprendices, de hecho, este tipo de saber le permite al enseñante tomar dos clases de decisiones: a) decisiones curriculares y b) decisiones instruccionales (Hollon, Roth, & Anderson, 1991). A partir de estos dos elementos claves, el equipo de Loughran diseñó un conjunto de preguntas que tienen como propósito deliberado el de encapsular los aspectos claves del CPC de un tópico específico, además, de darle forma al instrumento de la CoRe; desde luego, estos interrogantes son utilizados para desarrollar la entrevista de forma individual o colectiva con los sujetos-objetos investigados, y de esta forma hacer explícito el conocimiento tácito acerca de la enseñanza del tópico en consideración.

Ahora, los interrogantes que constituyen el instrumento de la CoRe han sido categorizados en dos subconjuntos, los cuales permiten identificar y documentar tanto la toma de decisiones curriculares como instrumentales. Es necesario anotar que todas las preguntas para cada «gran idea» no necesitan ser respondidas y que las representaciones de cada grupo de profesores de ciencias pueden variar en lo referente al énfasis y la comprensión. Las ideas anteriores se pueden evidenciar en la siguiente estructura lógica del instrumento de la CoRe, que es conocida como base para la entrevista del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia; es presentada aquí a partir de lo realizado por Loughran et al. (2000).

BASE PARA LA ENTREVISTA

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

Para cada una de estas ideas responda las siguientes preguntas, usando el conocimiento acerca de la ciencia y los aprendices para tomar decisiones curriculares e instruccionales:

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

Finalmente, a pesar de que la representación del contenido (CoRe) es considerada por muchos educadores de profesores de ciencias como una herramienta poderosa para la captura, documentación y representación del CPC de un profesor ejemplar (Mulhall et al., 2003; Garritz & Trinidad-Velasco, 2006; Loughran et al., 2004), esta presenta algunas limitaciones, a causa de que su contenido se encuentra formulado en forma de proposiciones, lo cual no permite evidenciar la intuición del profesor durante el acto educativo. Ahora bien, para superar esta dificultad, Loughran et al. (2000) diseñaron un instrumento complementario a la CoRe que les permitiera capturar ese elemento clave del saber profesional del maestro, a este nuevo instrumento lo denominaron PaP-eR (*repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas*).

Repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas (PaP-eR)

El PaP-eR constituye un relato narrativo del CPC de los profesores para una porción particular del contenido del currículo de la ciencia, es una herramienta que permite capturar, documentar y representar los procesos de razonamiento y las acciones pedagógicas del profesor durante la enseñanza de un tópico específico a un grupo de estudiantes en un contexto singular, es decir, posibilita ilustrar los aspectos del CPC en la acción. Ahora bien, estos retratos narrativos de los pensamientos, juicios, tomas de decisiones y acciones inteligentes de los profesores, tienen como función clave el brindarles la posibilidad de «ver» las múltiples interacciones entre los elementos del CPC, mostrándolas significativas y accesibles para los enseñantes, para que a partir de ellas puedan identificar su propio CPC y así conseguir que tanto sus teorías personales como sus prácticas educativas evolucionen progresivamente hacia los marcos teóricos sugeridos por las actuales reformas en la educación en ciencias.

Debe considerarse que un único PaP-eR no es suficiente para ilustrar la complejidad del conocimiento en torno a un contenido particular; por ello, se debe construir una colección de PaP-eRs sobre un tópico específico, con el propósito de destacar algunas de las diferentes mezclas de los componentes que están indicados en el CPC de ese campo (Loughran et al., 2004). Así, la relación sinérgica entre los diferentes PaP-eRs de un contenido específico permite evidenciar el CPC en la acción del profesor en cuestión, además, esta situación reafirma la naturaleza compleja de este constructo.

Ahora bien, un aspecto importante del diseño de estos dos instrumentos (CoRe y PaP-eR) es la articulación que se da entre ellos; así pues, su interacción bidireccional describe e interpreta efectivamente la práctica de las clases de ciencias. Dicho de otra manera, los PaP-eRs están relacionados con la CoRe para ayudar a conectar las acciones inteligentes del profesor durante la clase con la comprensión que este tiene del contenido en cuestión. Desde luego, estas relaciones entre ambos instrumentos iluminan las futuras decisiones que puede tomar un lector-profesor para la reconstrucción de sus acciones con miras a que estas les permitan a sus estudiantes superar sus dificultades y concepciones alternativas (Loughran, Milroy, Berry & Gunstone, 2001).

Otro aspecto importante de los PaP-eRs hace referencia a que estos pueden ser contruidos a través de las descripciones e interpretaciones hechas por el investigador en torno a la narrativa del profesor durante las clases, las entrevistas y las discusiones de los elementos claves de la CoRe de un tópico específico. Así que los PaP-eRs emergen desde la

práctica actual del profesor y dependen de dos importantes cuestiones: a) los PaP-eRs corresponden a un contenido particular del currículo de las ciencias, por lo tanto, están amarrados a ese contenido y b) un sólo PaP-eR no puede capturar el CPC, de ahí que sea necesario recopilar un conjunto de PaP-eRs de un tópico específico para conseguir aclarar diferentes aspectos del CPC (Loughran et al., 2004).

En cuanto al formato de los PaP-eRs que se ha venido usando en los informes finales de los estudios acerca de la captura, documentación y representación del CPC de un profesor catalogado como experimentado y ejemplar, podemos afirmar que la estructura lógica de los relatos narrativos de los diferentes PaP-eRs proviene de la triangulación de fuentes de datos, tales como entrevistas, observación participante de la clase, discusiones durante la construcción de la CoRe, notas de campo, diario clase de los estudiantes o del profesor, acciones de los estudiantes, pensamiento en voz alta y estimulación del recuerdo. Ahora bien, la macroestructura del texto narrativo de los PaP-eRs debe de permitirle al lector realizar una lectura vicaria de las acciones inteligentes acontecidas a lo largo del acto educativo (Candela, 2012).

Con respecto a las voces en las que son narradas las acciones de los miembros del colectivo áulico durante el desarrollo de las lecciones, se tiene que corresponden a la voz del profesor objeto de investigación o la voz del investigador, se emplean ambas con la intención de destacar la interacción entre la subjetividad del investigador y la subjetividad del sujeto investigado (Candela, 2012). En efecto, los PaP-eRs que se han escrito hasta el momento, poseen como característica común una introducción, además, están fundamentados en la noción de que el PaP-eR en sí mismo está explorando un ejemplo específico o un pequeño número de fenómenos asociados con el CPC en la acción, más que una exhaustiva lista de conexiones interrelacionadas y complejas que existe entre todos los conceptos asociados a la gran idea que se está abordando.

Finalmente, la revisión de la literatura en donde se ha utilizado la CoRe y los PaP-eRs como herramientas metodológicas y medios para representar el CPC de un profesor experimentado, ha permitido evidenciar que para construir los PaP-eRs se deben de tener en cuenta los siguientes aspectos: (a) la realidad de las clases, la cual incluye la diversidad de respuestas de los alumnos; (b) el pensamiento del profesor acerca de las respuestas que dan los estudiantes a las situaciones problemas; (c) el contenido que le da forma a la enseñanza-aprendizaje, y (d) el pensamiento de los estudiantes acerca de las relaciones que ellos establecen y el por qué de las mismas.

Ahora bien, en la próxima sección se abordará la manera en la que debería de ser utilizado el contenido de la CoRe y los PaP-eRs, como estrategias de enseñanza en los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química para profesores en formación y en ejercicio.

En la siguiente sección se presenta una tabla que describe la CoRe y los cinco PaP-eRs construidos durante este estudio; se busca que la interacción bidireccional de estos elementos le permita al lector evidenciar los pensamientos, juicios, toma de decisiones y acciones inteligentes del profesor Santiago que tuvieron lugar a lo largo de los procesos de planeación, enseñanza y reflexión en torno al núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia.

La explicitación del CPC del profesor ejemplar a través de la CoRe

En este documento se presenta sucintamente la forma en que se construye la CoRe y los PaP-eRs durante un estudio sobre la captura, documentación y representación del CPC de un profesor ejemplar acerca del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, a través de un estudio de caso de perspectiva cualitativa e interpretativa en donde se analizan los datos recogidos a través de una técnica de ordenamiento conceptual (codificación abierta, axial y selectiva) y teorización (Strauss & Corbin, 2002)². De hecho, esta estrategia de análisis de datos da como producto final de investigación, una CoRe y cinco PaP-eRs que podrán ser utilizados como materiales curriculares dentro de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química.

En este sentido, el contenido de cada uno de los ítems de la CoRe del sujeto investigado (profesor ejemplar) se formuló a partir de los vínculos claves establecidos entre las unidades de análisis, que provenían tanto de los relatos narrativos generados durante las discusiones de cada uno de los interrogantes de la base de la entrevista como de las respuesta que el profesor ejemplar le dio a las respectivas preguntas de este instrumento. Hay que tener en cuenta que por lo general los profesores investigados presentan en un comienzo dificultad para desarrollar los respectivos ítems de la CoRe, a

² Para una descripción más detallada del procedimiento tanto metodológico como de análisis de los datos que dieron origen a la CoRe y los PaP-eRs presentados en este documento, se recomienda revisar la tesis de maestría titulada: *La captura, la documentación y la representación del cpc de un profesor experimentado y «ejemplar» acerca del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia* (Candela, 2012).

causa de que su conocimiento en la acción está almacenado en la memoria permanente, sin embargo, ellos no son conscientes de esta situación, pero si lo son, se les dificulta verbalizarlo. Así que los investigadores deben de interactuar con estos sujetos durante varias sesiones con el fin de que expliciten su conocimiento en la acción sobre la planeación y enseñanza del tópico de la discontinuidad de la materia.

En cuanto a la tabla de la CoRe de la investigación en cuestión, se tomó la decisión de que su formato tuviera la misma estructura que usaron Loughran et al. (2000) y otros investigadores en el informe final de sus estudios sobre la captura, documentación y representación del CPC de un tópico específico. Así, esta estructura lógica está formada por filas y columnas que se intersecan, dando origen a celdas en donde se explicitan en forma de proposiciones las decisiones curriculares e instruccionales compartidas por el profesor durante la entrevista, es decir, los elementos del CPC de este. Adicionalmente, se destaca que los contenidos de algunas celdas pueden abarcar dos o más «grandes ideas» en las que el profesor ejemplar secuenció y temporalizó la enseñanza de la discontinuidad de la materia, esto significa que poseen límites difusos.

A continuación, presentamos la CoRe que captura, documenta y representa el CPC de un profesor ejemplar cuando planea la enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia.

BASE PARA LA ENTREVISTA

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

Para cada una de estas ideas responda las siguientes preguntas:³

³ Las preguntas de la base de la entrevista están ubicadas en el cuerpo de la tabla de la CoRe (ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Sistematización de la CoRe
Núcleo conceptual: Discontinuidad de la materia. Grado: Décimo

Ideas/conceptos importantes en ciencias				
Discontinuidad de la materia: la materia está formada por partículas indivisibles e invisibles llamadas átomos.	Estados físicos de la materia: las interacciones entre estas partículas determinan los estados de agregación de la materia y sus propiedades.	Espacios vacíos entre las partículas: entre las partículas que componen la materia se encuentra un espacio vacío.	Movimientos intrínsecos entre las partículas: las partículas que constituyen la materia presentan movimientos intrínsecos.	Cambio químico: las partículas de una sustancia, al interactuar entre ellas o con otras diferentes, pueden combinarse para formar otras especies de partículas que conforman una nueva sustancia.
1. ¿Qué intenta que aprendan los alumnos alrededor de esta idea?				
La intención educativa es que los estudiantes se inicien en la comprensión microscópica de la materia y la interioricen en su estructura cognitiva, para que de esta manera superen las restricciones que pone el sistema sensorial. De ahí que los estudiantes puedan conceptualizar que los átomos que forman las moléculas, aunque son invisibles al ojo humano, constituyen la materia y presentan un arreglo que determina las propiedades macroscópicas de esta.	Que los alumnos conceptualicen la noción de que las partículas de una sustancia conforman un sistema, por tanto, que estas están en una constante interacción, generando una fuerza de atracción, la cual determina el arreglo de las partículas, y a su vez este condiciona la apariencia de la sustancia en el mundo macroscópico (estados de agregación). Además, tenemos como propósito que los estudiantes desarrollen los esquemas conceptuales cualitativos de la química, a saber: interacción sistémica, conservación y equilibrio. Otro elemento que se potenciará por medio del abordaje de esta gran idea es la competencia comunicativa lingüística, a través de las fases de interacción, pequeños grupos de discusión y diarios de clases.	Que, a pesar de que no lo podemos percibir con nuestro sistema sensorial, entre las partículas existe un espacio vacío, que condiciona los estados de agregación de la materia y las propiedades físicas, tales como: difusión, viscosidad, puntos de fusión, ebullición, solidificación, densidad, mezclas homogéneas, etc. Esta idea también permite la conceptualización del proceso de la disolución, además, la compresión e incompresión de las sustancias. Adicionalmente, el tratamiento de este tópico le brinda la oportunidad al estudiante de desarrollar el esquema conceptual de la interacción entre las partículas, lo cual le permitirá comprender por qué la temperatura y la presión son factores que influyen en la densidad de la sustancia.	Que los estudiantes conceptualicen el movimiento intrínseco de las partículas, es decir, el hecho de que para trasladarse no necesitan de un agente externo; para que de esta forma superen la concepción del movimiento aparente, en donde se requiere de un agente externo que mueva las partículas, por ejemplo, el aire. Ahora, las partículas, dependiendo del estado de agregación, podrán tener tres clases de movimientos, a saber: traslación (líquido y gaseoso) y vibración (sólidos). Otro aspecto a tener en cuenta hace referencia a que el movimiento de las partículas está condicionado por la cantidad de energía que estas tengan. Finalmente, los estudiantes deben de conceptualizar que la materia es un complejo sistema de partículas en continuo movimiento e interacción, cuya causa es el vacío existente entre estas.	Uno de los propósitos es que los estudiantes conceptualicen la idea de que la interacción de las partículas de un mismo sistema o de sistemas diferentes puede generar una combinación química entre ellas, lo cual hace que no se conserve la identidad de las moléculas, pero sí la de los átomos; además, se mantiene el número de partículas; el anterior hecho resulta ser contrario a lo que sucede durante los cambios de estado (cambios físicos). Vale la pena decir que el tratamiento de esta idea ofrece la oportunidad para que los estudiantes continúen el desarrollo de los esquemas de interacción sistémica y de conservación; adicionalmente, se comienza a abordar el esquema de proporcionalidad, elemento fundamental para que el estudiante alcance un pensamiento formal.

Continúa

Viene

2. ¿Por qué es importante que los alumnos sepan esta idea?			
<p>Porque les permite construir una concepción alternativa a las concepciones intuitivas que, sobre los estados de agregación de la materia, ellos han internalizado desde su interacción con los objetos, el medio sociocultural y la instrucción. Así pues, estos comienzan a utilizar la noción corpuscular de la materia para explicar los cambios de fase, de hecho, esta generalización les permitiría comprender que la apariencia macroscópica que tienen las sustancias en los tres estados es una consecuencia del arreglo de las partículas.</p>	<p>A través del desarrollo de esta idea van a poder comprender los siguientes fenómenos: proceso de disolución de sustancias, mezclas homogéneas, cambio físico y químico, densidad a nivel submicroscópico. Adicionalmente, ayudará a potenciar el esquema conceptual de interacción, y este a su vez le permitirá al estudiante darle sentido al concepto de fuerzas intermoleculares.</p>	<p>Por medio de esta idea los estudiantes pueden explicar, por medio de la representación submicroscópica, propiedades tales como difusión, compresibilidad; leyes de los gases; cambios o transformaciones de la materia; punto de fusión, ebullición y solidificación; densidad; viscosidad; presión de vapor, etc.</p> <p>Asimismo, el desarrollo de este tópico brinda la oportunidad para potenciar los esquemas de la química, tales como interacción, conservación y equilibrio.</p>	<p>Ciertamente, el desarrollo de esta idea les permitirá a los estudiantes hacer una diferenciación tanto a nivel macroscópico como submicroscópico de los fenómenos de cambio físico y químico; lo cual generará una oportunidad para que ellos más adelante accedan al tópico de reacciones químicas. Al mismo tiempo, la comprensión de este tópico les posibilitará darle sentido a muchos fenómenos del mundo de la vida, tales como la respiración; la combustión, que se da en una estufa o un automóvil; la lluvia ácida; la oxidación de los metales; la fotosíntesis, etc.</p> <p>También, los estudiantes, a través del desarrollo de este tópico, estarían potenciando los siguientes esquemas conceptuales: interacción sistémica, conservación y proporcionalidad; elementos fundamentales para poder darle sentido a las leyes ponderales de la química (ley de la conservación de la masa; ley de las proporciones múltiples y ley de las proporciones definidas).</p> <p>Vale destacar que la comprensión del principio de la conservación de la masa, además del conocimiento de la teoría general de las reacciones químicas, es un eje vertebrador que influyen en el aprendizaje de muchos de los tópicos que se abordan en la química (Paixao & Cachapuz, 2000).</p>
3. ¿Qué más sabe respecto a esta idea (y que no incluye en sus explicaciones a sus alumnos)?			
<p>Los esquemas conceptuales cuantitativos de la química, como proporcionalidad, correlación y probabilidad. Así, estos más adelante nos permitirán abordar el núcleo conceptual de las relaciones cuantitativas de las propiedades químicas.</p>	<p>La curvas de calentamiento y enfriamiento de las sustancias.</p> <p>Los diagramas de fase.</p> <p>Las propiedades de los estados físicos.</p>	<p>Las fuerzas intra e intermoleculares, enlaces químicos, densidad, polaridad de los enlaces y de las moléculas, geometría molecular, reacciones químicas, soluciones y sus propiedades, solubilidad y factores que la afectan la solubilidad.</p>	<p>Reacciones químicas, estequiometría, equilibrio químico, estequiometría de gases, enlaces químicos, fórmula empírica y molecular.</p> <p>En cuanto a los esquemas, no se abordarán el de correlación y de probabilidad.</p>

Continúa

Viene

4. ¿Cuáles son las dificultades/ limitaciones relacionadas con la enseñanza de esta idea?				
<p>Los estudiantes han construido sus conceptos físicos y químicos a través de la interacción de su sistema sensorial con el mundo que lo rodea, así, en su contexto todo es percibido de forma continua y estática. De hecho, estas representaciones intuitivas les han servido a los aprendices para predecir, controlar y adaptarse a su medio, sin hacer grandes esfuerzos; de ahí que la concepción continúa de la materia sea difícil de modificar.</p> <p>También, debe tenerse en cuenta que los estudiantes no diferencian e integran los tres niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico); por ello, cuando el profesor salta de un nivel a otro sobrecarga la memoria de trabajo de estos, hecho que ocasiona una ruptura entre el conocimiento nuevo y el viejo.</p>	<p>Los estudiantes interpretan la teoría corpuscular a partir de sus concepciones alternativas, y no las concepciones intuitivas a través de la teoría corpuscular; este hecho hace que ellos transformen la teoría corpuscular, y por ello consideran que las partículas sufren el mismo cambio que se da a nivel macroscópico.</p> <p>Por ejemplo, afirman las siguientes declaraciones: las moléculas del agua se evaporan; los átomos de cobre son de color café; las partículas de hierro se dilatan; las partículas de cobre son maleables, etc.</p> <p>De igual manera, durante los cambios de estado se les dificulta correlacionar la variable del movimiento intrínseco de las partículas dentro de un sistema con variables tales como la temperatura, la densidad y la distribución de las partículas, que alteraría el estado aparente de la materia.</p> <p>Adicionalmente, los estudiantes interpretan cada uno de los estados físicos de la materia a partir de un modelo diferente.</p>	<p>El concepto de vacío entre las partículas posee un alto grado de abstracción; desde luego, esta es una idea contraintuitiva, ya que pertenece al nivel de representación submicroscópico. De hecho, para afrontarla se necesita del diseño de situaciones experimentales que le permitan al aprendiz inferir su existencia.</p> <p>Por lo general, los estudiantes después de varios años de escolaridad aceptan la existencia del espacio vacío en las sustancias que se encuentran en estado gaseoso (difusión de los gases), no obstante, niegan la existencia de este en el estado sólido (aparición compacta y dura); en cuanto al vacío en el estado líquido, se encuentra en un nivel intermedio de dificultad.</p>	<p>Hay que destacar que esta idea es de naturaleza contraintuitiva, ya que el estudiante no puede percibir este fenómeno a través de su sistema sensorial, es decir, desde el nivel de representación macroscópico, donde los niños perciben el mundo que los rodea de forma continua y estática; así pues, ellos no puede observar las partículas en movimiento y mucho menos los espacios vacíos que dice la ciencia que hay entre estas entidades.</p> <p>Por lo general, los profesores siempre han enseñado únicamente las propiedades observables de la materia (masa, peso, color, sabor, etc.); ahora, en cuanto a los constructos de átomos, moléculas y propiedades no observables de las sustancias, se han abordado de forma instrumental y no relacional, esto es, haciendo énfasis en memorizar definiciones que se repiten durante la toma de lecciones o exámenes, pero que no se comprenden, ya que son conceptos que se han generado de la abstracción de la abstracción, para los cuales los profesores no poseen un repertorio de actividades que permitan observar lo inobservable.</p>	<p>Hemos detectado las siguientes dificultades:</p> <p>Los modelos de los estudiantes acerca del cambio químico y físico están condicionados por el sistema sensorial; en virtud de ello, se focalizan en las propiedades macroscópicas, es decir, tienden a explicar lo que cambia en el sistema, no lo que permanece. De ahí que no tomen en cuenta las propiedades submicroscópicas para interpretar los cambios y transformaciones de la materia.</p> <p>Las diferencias entre el cambio químico y físico, en muchos casos no se pueden evidenciar desde el nivel de representación macroscópico, sino desde el submicroscópico y simbólico.</p> <p>La dificultad para conceptualizar el esquema de la conservación del número de partículas y la identidad de éstas.</p> <p>La indiferenciación entre cambio químico y físico.</p> <p>La falta de desarrollo de los siguientes esquemas conceptuales: interacción sistémica, conservación, equilibrio y proporcionalidad.</p>

Continúa

Viene

5. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los alumnos influyen en su enseñanza de esta idea?				
<p>Los estudiantes han construido una realidad natural continua y estática que les permite en los primeros años de secundaria afirmar que solo existe lo que se percibe; luego de varios años de instrucción, aceptan la existencia de un mundo submicroscópico e imperceptible que la ciencia y la tecnología ayudarán a descubrir. Por tanto, admiten la existencia de electrones, orbitales atómicos, calor, etc., no como modelos que sirven para explicar las propiedades de la materia, sino como entes reales; es decir, sustancializan estas construcciones conceptuales.</p> <p>Adicionalmente, aceptan con facilidad que la materia está formada por partículas, no obstante, cuando se les pide que realicen modelos representacionales submicroscópico de esta, asumen los símbolos que representan las partículas como si fueran trozos del mismo material.</p>	<p>La regla heurística de semejanza entre causa y efecto, le permite al estudiante formatear su realidad, para lo cual construyen las siguientes concepciones alternativas acerca de los estados de agregación de la materia:</p> <p>Los aprendices consideran que las partículas de las sustancias en el estado sólido tienen mayor peso que cuando éstas componen una sustancia en estado líquido o gaseoso. Vale la pena destacar que para ellos las partículas de una sustancia en fase gaseosa no tienen peso, adicionalmente, las representan más grandes.</p> <p>La mayoría de los estudiantes representan las partículas en el estado sólido no muy cercanas, sino unidas, es decir, que comunican la idea de la naturaleza continua de la sustancia.</p> <p>Además, reconocen al aire como un sistema que interacciona con otro, pero cuando hay que representarlo gráficamente, lo omiten.</p> <p>Adicionalmente, sustancializan la energía o el calor a lo largo de sus explicaciones de los cambios de estado; por ejemplo, «partículas de calor», «partículas de energía», «partículas de temperatura», «el sistema del sol», etc.</p>	<p>Los aprendices niegan la existencia del vacío entre las partículas, así pues, cuando ellos grafican el arreglo de las partículas de una sustancia en estado sólido, las representan a unidas, mas no separadas, es decir, no hay nada entre ellas o existen otras porciones de la misma clase. Ahora, cuando la sustancia está en fase gaseosa, ellos afirman que entre las partículas existe aire. En cuanto al estado líquido, existen diversas representaciones sin una pauta concreta.</p> <p>Hay algunos estudiantes que aceptan el vacío, no obstante, lo asimilan a «huecos». Así, la literatura ha recogido algunas respuestas dadas por los estudiantes acerca de qué hay entre las partículas: aire, otras partículas, gases, una sustancia muy ligera, gérmenes, polvo y suciedad (Pozo, Gómez, Limón & Sanz, 1991).</p>	<p>En cuanto al movimiento de las partículas que conforman una sustancia, los estudiantes consideran lo siguiente: estado sólido (las partículas siempre están en reposo); estado líquido (las partículas solo se mueven cuando hay un agente externo que cause ese movimiento) y estado gaseoso (las partículas se mueven siempre). Por tanto, el estudiante manifiesta indiferenciación entre el movimiento intrínseco de las partículas y el movimiento aparente del material del que forma parte.</p>	<p>Los compuestos son vistos por los estudiantes como formados por fragmentos pegados, más que siendo sintetizados a partir del debilitamiento y fortalecimiento simultáneo de enlaces químicos.</p> <p>Los estudiantes tienden a asociar el cambio químico con la desaparición de una sustancia; por otro lado, cuando no hay desaparición de una sustancia, lo interpretan como cambio físico.</p> <p>Los aprendices usualmente recitan la ley de la conservación de la masa, sin embargo, no han logrado interiorizar que en el cambio químico se conserva el número de partículas y la identidad de los átomos, pero varía la identidad de las moléculas. De ahí, que los estudiantes creen que los átomos se transforman en otra especie de partícula (transmutación de los átomos).</p> <p>Adicionalmente, toda interacción de dos o más sustancias, los aprendices la categorizan como un cambio químico, a pesar de que sea una disolución.</p>

Continúa

Viene

6. ¿Qué otros factores influyen en su enseñanza de esta idea?	
<p>La interacción bidireccional entre las siguientes categorías de la base del conocimiento: conocimiento del tema de la materia; conocimiento de la pedagogía; conocimiento de la comprensión del estudiante y conocimiento del contexto. Lo anterior le permite al profesor traducir el contenido <i>per se</i> en una forma más accesible para el estudiante.</p> <p>La estructuración de la clase en fases tales como: interactiva, no interactiva, pequeños-grupos de discusión y trabajo individual de los estudiantes.</p> <p>El desarrollo de un lenguaje común que permita una comunicación continua y fluida entre el profesor y los estudiantes. Para ello, el colectivo áulico debería, antes de empezar a desarrollar el currículo de la química, conocer los siguientes elementos que estructuran la enseñanza de esta disciplina: núcleos conceptuales; niveles de representación macroscópico, submicroscópico y simbólico, además de la relación de interacción entre estos; asimismo, los esquemas conceptuales de interacción, conservación y equilibrio.</p> <p>La ausencia en el currículo de química de un abordaje extenso y profundo tanto de este núcleo conceptual como de los esquemas que lo subyacen.</p>	<p>Los siguientes son elementos que condicionan el aprendizaje de estas ideas contraintuitivas:</p> <p>El nivel de desarrollo intelectual del estudiante, ya que este influye en su proceso de abstracción.</p> <p>Los estilos de aprendizaje: memorísticos y comprensivos.</p> <p>El desarrollo de la memoria de trabajo de los estudiantes.</p> <p>Las actividades de enseñanza focalizadas en tipos de tareas por comprensión y opinión, sin descuidar las procedimentales.</p> <p>La estructuración lógica de las actividades de enseñanza, comenzando por tareas que pertenecen al mundo macroscópico, seguidas por las que están adscriptas al mundo submicroscópico y finalizando con la representación de estos mundos a nivel simbólico, con el propósito de que el estudiante logre diferenciar e integrar de manera evolutiva los conocimientos generados en estos niveles de representación.</p> <p>La capacidad del profesor para monitorear el nivel de comprensión, confusión y compromiso del estudiante, con el fin de suministrar una retroalimentación durante el proceso de enseñanza.</p>

LOS PAP-eRs DE UN PROFESOR EJEMPLAR ACERCA DE LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA

El ordenamiento conceptual junto con el análisis de todo el corpus de datos del estudio en cuestión, dio como producto literario cinco retratos narrativos o PaP-eRs, cuyas macroestructuras textuales asociadas con las relaciones semánticas establecidas entre las diferentes unidades de análisis adscriptas a las categorías y subcategorías de la investigación de la captura, documentación y representación del CPC de un profesor ejemplar (Candela, 2012, cap. 4, ver la sección «Presentación de Resultados»), generaron un conjunto de retratos narrativos verosímiles que tuvieron una coherencia y cohesión, así, estos permitieron retratar los pensamientos, juicios y acciones inteligentes del profesor ejemplar durante el desarrollo de cada una de las grandes ideas en las que él secuenció y temporalizó la enseñanza del núcleo de la discontinuidad de la materia. Finalmente, el estudio generó los siguientes PaP-eRs:

1. Una base de conocimiento para la enseñanza del núcleo de la discontinuidad de la materia.
2. Diferenciación e integración de los niveles de representación macroscópico y submicroscópico para darle sentido a los cambios de estado físico.

3. Explicando la apariencia de las sustancias a partir del movimiento, interacción y arreglo de las partículas.
4. Explicando los espacios vacíos entre las partículas a través del fenómeno de la disolución de sustancias.
5. Cuando el cambio va más allá de la apariencia.

En la próxima sección se presenta el cuerpo del conocimiento de los cinco PaP-eRs antes mencionados, con la intención de que el lector pueda llevar a cabo una lectura vicaria de cada uno de estos.

PaP-eR N.º 1

Una base de conocimiento para la enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia

Introducción

En este PaP-eR se describen las concepciones del profesor Santiago acerca de las metas de la educación en química, las razones que las sustentan, además de su concepción acerca del aprendiz y del aprendizaje, y del papel clave que juega él en este proceso. Adicionalmente, en el cuerpo de este PaP-eR se encuentran los pensamientos y las acciones inteligentes del profesor, que recogen su intención por establecer un lenguaje común entre los miembros del colectivo áulico.

Marco teórico de Santiago desde la entrevista

Santiago es un profesional de la educación que se graduó primero como licenciado en Biología y Química, posteriormente recibió el título de químico puro, además, es especialista en Enseñanza Universitaria; ha sido catalogado como un profesor experimentado y «ejemplar» tanto por la comunidad escolar como por sus pares académicos. Ahora, las metas que él se ha propuesto alcanzar con sus estudiantes son: comprensión de los tópicos que conforman el currículo de la química; desarrollo de los esquemas conceptuales de la química; desarrollo de conocimientos procedimentales tanto los propios de la ciencia como los de la adquisición y comunicación de la información; desde luego, considera a estos últimos como instrumentos esenciales para que las personas puedan desempeñarse de forma competente en esta sociedad del conocimiento.

Adicionalmente, Santiago ha dejado ver en su narrativa que la química es un instrumento o medio para alcanzar unas metas, es decir, que esta disciplina no es un fin en sí mismo. Desde luego, para él la meta de la educación en química es la alfabetización en esta disciplina y la estructuración del

pensamiento de los estudiantes; para ello, considera fundamental desarrollar tanto los esquemas conceptuales como las competencias comunicativas, no obstante, aclara que estos dos elementos del conocimiento no se pueden desarrollar en vacío; por eso, ha seleccionado unos núcleos conceptuales de la química que le permitirán al estudiante potencializar los anteriores elementos; luego, estos esquemas y competencias comunicativas le brindarán al aprendiz la posibilidad de darle sentido a muchos fenómenos físicos y químicos. Un fragmento del relato narrativo de Santiago durante la clase ilustra las anteriores ideas:

Considero de suma importancia que en el aula se practiquen tres elementos, a saber: **leer, pensar y comunicar**. Ahora, en cuanto al comunicar, pienso que este aspecto se debe de realizar tanto de forma verbal como de forma escrita; para ello, los estudiantes deberán expresar sus ideas o conceptos acerca de una situación problema que previamente se les entregará a través de una unidad didáctica, la cual deberán haberla leído, pensado y comunicado al interior de su pequeño grupo de discusión.

Vale decir que Santiago posee un amplio y profundo conocimiento de los núcleos y esquemas conceptuales de la química, además de la pedagogía, gracias a que es un profesor que continuamente estudia y reflexiona acerca de los temas publicados en las revistas de divulgación científica y pedagógica; adicionalmente, ha invertido 22 años de su vida planeando, enseñando y reflexionando acerca de la mayoría de los tópicos que constituyen el currículo de la química, hecho que le ha permitido construir un amplio repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas, las cuales moviliza durante el acto educativo a través de su conocimiento en la acción; no obstante, la mayor parte de esta sabiduría experiencial se encuentra en forma tácita; por ello, a él se le dificulta verbalizar todas las acciones inteligentes que realiza cuando enseña un tópico específico a un grupo de estudiantes.

Santiago tiene la concepción de que para ser un profesor de ciencias «ejemplar» se requiere de la integración sinérgica del conocimiento de los siguientes elementos: el tema de la materia, el currículo, el contexto, además de una visión constructivista del aprendiz y del aprendizaje. Igualmente, considera que los programas de educación permanente para los profesores de ciencias no han logrado generar una evolución progresiva en el sistema de conocimientos y creencias que poseen los docentes sobre la enseñanza y aprendizaje de la ciencia, puesto que estos se han focalizado en los aspectos de la pedagogía general, dado que presuponen que el conocimiento del contenido disciplinar ha sido adquirido por el profesor durante los cursos tomados en el pregrado, de esta forma se ha descuidado

la reflexión sobre cómo transformar un tópico específico de la materia de tal manera que un grupo determinado de estudiantes lo puedan comprender. A consecuencia de lo anterior, el profesor Santiago ha dejado de asistir a los programas de educación que ofrecen las universidades, optando por cualificarse por su propia cuenta, a través de artículos provenientes de las revistas y la reflexión acerca de las dificultades/limitaciones tanto para enseñar como para aprender un tema del currículo de la química. En palabras de Santiago:

El gremio nuestro pretende que los programas de formación docente nos de una fórmula mágica para aplicarla en las clases y de esta manera mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, sin realizar procesos de reflexión acerca del contenido de la materia, la pedagogía y el contexto de enseñanza. Adicionalmente, nuestro gremio ha dejado ver su concepción de empleados de la educación, dedicándose únicamente a recitar de manera unidireccional las definiciones sobre los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se encuentran en los textos escolares. Los profesores creen que porque llevan muchos años orientando la clase de química, no deben sentarse en su casa a prepararla, ellos consideran que es perder el tiempo, de hecho, este proceso se ha perdido en la educación; así que los profesores llegan al salón con las manos cruzadas, muchas veces a improvisar; así, uno puede tener mucho conocimiento de química, pero tiene que sentarse a pensar cómo transformar los conceptos abstractos, de tal manera que se genere un discurso accesible para los muchachos. Uno puede tener gran manejo del saber disciplinar, no obstante, tiene que transformarlo para que los estudiantes lo comprendan con menos dificultad.

El profesor Santiago considera que una oportunidad esencial para el desarrollo profesional son los espacios en los cuales se puede realizar una reflexión colegiada acerca de los múltiples problemas de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia, tales como: a) la dificultad para aprender ciencias; b) la dificultad para enseñar ciencias; c) concepciones alternativas de los estudiantes; d) ¿cómo hacer para ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades?, y e) desarrollo del conocimiento del tema de la materia (detalles de los tópicos, principios o esquemas conceptuales y metodología), etc. Adicionalmente, destaca que estas discusiones pueden estar fundamentadas en la amplia y profunda literatura existente tanto en medios materiales como magnéticos. En palabras de Santiago:

El proceso de reflexión, junto con el conocimiento del contenido disciplinar, es uno de los elementos de mayor importancia del acto de la enseñanza, dado que le permite al profesor tomar decisiones curriculares e instruccionales antes, durante y después del acto educativo. De ahí que,

así no se tenga amplios conocimientos de pedagogía y didáctica, uno efectivamente reflexiona durante la enseñanza y después de esta; puede palear estas deficiencias del conocimiento pedagógico y didáctico, es decir, por lo menos no comete tantos errores.

Por lo que se refiere al tipo de metodología de enseñanza de la ciencia, el profesor considera que esta estará centrada en el estudiante como sujeto responsable de su propio aprendizaje; para ello, focalizará el acto educativo en los pequeños grupos de discusión y en la estructura interactiva, sin dejar de implementar en la clase una estructura no interactiva y el trabajo individual. De hecho, él afirma que las diferentes actividades a realizar partirán en lo posible de tareas problemas que los estudiantes deberán abordar de manera cooperativa (pequeños grupos de discusión) a partir de las siguientes fases: *predicción, observación y explicación* (POE). Asimismo, Santiago aclara que esta metodología necesita de la inversión de tiempo y cognición; por ello, se han seleccionado los núcleos conceptuales de la química y sus respectivos esquemas de pensamiento, que subyacen a los tópicos del currículo de esta disciplina, para que, en caso de no poderse cubrir todos los tópicos del currículo, el estudiante de manera autónoma aborde los temas faltantes sugeridos por las directrices ministeriales, dado que tendrá las herramientas apropiadas para construir los tópicos que la escuela no haya podido abordar. El siguiente fragmento de la narrativa de Santiago permite ilustrar las anteriores ideas:

Los profesores de ciencias naturales deberíamos de abordar la enseñanza a partir de interrogantes provenientes de la cotidianidad, tales como: ¿por qué el agua hierve primero en Bogotá que en Cartagena? ¿Qué sucede internamente cuando el agua está en ebullición? ¿Qué le ocurre internamente al agua cuando se congela o evapora? Si los estudiantes pudieran explicar esos fenómenos que viven a diario, la química sería completamente diferente; pero uno en el bachillerato no se dedica a eso, dado que tiene que cumplir con un programa prescripto; ahora, para que un estudiante entienda los tópicos del currículum de la química se tendría que impartir una enseñanza completamente diferente. Es decir, significa que tenemos que cambiar la concepción tradicional de cómo enseñar y aprender ciencias por una más constructivista, además, se debe de tener un equipo de trabajo en donde se lleguen acuerdos sobre el currículum a enseñar en toda la institución, para que así el trabajo que se inicie en los primeros años de escolaridad tenga continuidad en los años siguientes, y de esta manera se pueda cumplir con las siguientes metas propuestas: el desarrollo del pensamiento y la adquisición de conceptos.

Con respecto a las tareas problemas (diferentes a los ejercicios), Santiago afirma que estas estarán graduadas comenzando con un nivel de complejidad bajo, que irá creciendo a medida que los esquemas de pensamiento del estudiante vayan evolucionando, para no generar una sobrecarga en su memoria de trabajo, adicionalmente, las primeras tareas deberán de ser de corte cualitativo y posteriormente cuantitativo, es decir, deben de estar localizadas en la zona de desarrollo proximal del estudiante.

En relación con las concepciones alternativas acerca del núcleo de la discontinuidad de la materia que el aprendiz ha construido a través del sistema sensorial, la cultura y la instrucción, Santiago considera que no pretende sustituirlas por los modelos científicos, eso sería muy difícil, dado que estas cuentan con la ventaja que les otorga el necesitar de menor inversión cognitiva y ser más útiles en los contextos cotidianos. Así pues, más bien trata de que los estudiantes construyan unos modelos más sistemáticos que les permitan darle sentido a los fenómenos naturales y físicos de otra forma, asimismo, que ellos sean conscientes de la existencia de múltiples modelos que pueden interpretar el mismo fenómeno, pero desde diferentes perspectivas (por ejemplo, la teoría atómica y la teoría cinética).

Otro elemento que continuamente el profesor tiene presente dentro de sus reflexiones, hace referencia a que el tópico de la discontinuidad de la materia tiene un alto componente de abstracción; por ello, trata de adaptar y ajustar su desarrollo tanto al nivel como a la estructura cognitiva del estudiante en cuestión. De hecho, afirma que, tal como la literatura lo ha dejado evidenciar, este núcleo conceptual vertebró el desarrollo de todos los tópicos que conforman el currículo de la química, por ende, es consciente de que este debe ser construido por el estudiante en el curso de la instrucción, en lugar de tratar de abordarlo en pocas lecciones. El siguiente fragmento ilustra la anterior idea:

[...] el tema de la discontinuidad de la materia es muy importante, ya que este sirve para que los estudiantes puedan entender los otros temas de la química; si le echamos una mirada a los ámbitos que evalúa el ICFES (aspectos analíticos de sustancias, aspectos fisicoquímicos de sustancias, aspectos analíticos de mezclas y aspectos fisicoquímicos de mezclas) podemos observar que todos estos necesitan de la discontinuidad de la materia para poderlos entender.

Por otro lado, las dificultades/limitaciones acerca de la enseñanza de la química que el profesor ha tenido que superar a lo largo de su desarrollo profesional, tienen que ver con el tratamiento de los tópicos del currículo de la química de manera lineal, correspondiente a la presión ejercida tanto

por el director de la institución como por las pruebas estandarizadas a las que se tiene que enfrentar el estudiante; de hecho, él considera que en los documentos del MEN se puede evidenciar una gran lista de contenidos prescritos que deben ser tratados con una intensidad de dos o tres horas semanales asignadas dentro del plan de estudios. Consecuentemente, afirma que en los inicios de su carrera docente se sintió presionado a enseñar los tópicos de la química utilizando una estructura de clase no interactiva, en donde el maestro es el centro del acto educativo y el estudiante únicamente escucha, es decir, la meta fundamental del acto educativo era alcanzar a explicar todos los temas de la disciplina, sin monitorear el grado de comprensión y confusión de los aprendices, puesto que lo importante era cumplir el programa, así los estudiantes no hubieran comprendido el tópico en consideración. De hecho, al finalizar el año escolar él sentía un sabor agri dulce, ya que había cumplido con la totalidad de los tópicos planeados, no obstante, percibía que muchos aprendices no habían podido superar sus limitaciones y dificultades.

A efectos de lo anterior, Santiago tiene la creencia de que en los actuales momentos no le preocupa tanto abordar un alto número de temas, sino que sus estudiantes interioricen bien los núcleos conceptuales de la química, además, que desarrollen de forma progresiva los esquemas conceptuales de esta disciplina, por lo tanto, considera que estos dos elementos tienen la funcionalidad de permitirles a los estudiantes comprender los eventos, acontecimientos y fenómenos naturales y físicos, además de desarrollar su pensamiento formal.

Santiago considera que la experiencia, el estudio de la literatura sobre la E/A de la ciencia, la planeación y enseñanza repetidas de un tópico específico, la reflexión en la acción, la reflexión sobre los resultados de lo planeado y lo enseñando, le permitieron cambiar de manera progresiva su sistema de conocimientos y creencias acerca de la enseñanza-aprendizaje de esta disciplina, lo cual le sirvió para modificar la manera de planear y enseñar la química. Él afirma que un elemento clave para este desarrollo profesional a lo largo de su vida ha sido el estudio continuo de los artículos de las revistas sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, considerando que estas le han permitido conocer en parte las concepciones alternativas con las que los estudiantes llegan al estudio de un tópico específico (la experiencia también le sirvió para construir un repertorio de concepciones alternativas); adicionalmente, este medio le suministró las analogías, demostraciones y prácticas de laboratorio más usadas durante la enseñanza del tópico en consideración. De hecho, considera que estas representaciones le sirven como mediadores para lograr que sus estudiantes accedan a los tópicos abstractos de la química.

Finalmente, el profesor afirma que a lo largo de su desarrollo profesional ha llegado a la conclusión de que, para que los estudiantes comprendan los tópicos del currículo de la química, se debe interiorizar de manera sistémica los siguientes tres elementos: el núcleo de la discontinuidad de la materia, los esquemas conceptuales cualitativos y los tres niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico), de esta forma se podrá allanar el camino a los otros temas de esta disciplina. Como resultado de este proceso, ha dividido la enseñanza-aprendizaje de este núcleo en las siguientes ideas:

1. La materia está constituida por pequeñas partículas.
2. Entre las partículas existen unos espacios vacíos.
3. Las partículas tienen movimiento propio.
4. El arreglo de las partículas condicionan la apariencia de la sustancia.
5. Las partículas al interactuar pueden combinarse o juntarse, formando una nueva sustancia.

En cuanto a los esquemas conceptuales, el profesor Santiago, tiene como meta que sus estudiantes comiencen a desarrollar los siguientes:

1. Interacción sistémica.
2. Conservación.
3. Equilibrio.
4. Proporcionalidad.
5. Correlación.
6. Probabilidad.

Una puesta en común en el lenguaje de la química (la voz del profesor)

Reconozco que uno de los aspectos fundamentales de mi desarrollo profesional como profesor de química ha sido las continuas planeaciones y enseñanzas del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, junto con las reflexiones acerca de los incidentes críticos generados a lo largo de la enseñanza preactiva, interactiva y postactiva. Así, los anteriores hechos me han permitido visualizar que las posibles causas de por qué el estudiante tiene dificultades/ limitaciones para comprender el tópico de la discontinuidad de la materia podrían ser las siguientes: (a) pensamiento signado por el sistema sensorial; (b) indiferenciación de los niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico); (c) poco desarrollo de los esquemas conceptuales que subyacen la construcción de los tópicos que conforman el currículo de la química, y (d) concepciones alternativas que compiten con ventaja sobre los tópicos de la ciencia. Ahora bien, para poder ayudar a los estudiantes a superar estas dificultades de origen, debe-

mos establecer un lenguaje común para los integrantes del colectivo áulico, con la intención de que los aprendices logren una articulación entre los conocimientos nuevos y los que ya residen en su memoria permanente. El siguiente fragmento del diario de clase de una alumna ilustra la creencia del profesor en cuanto al lenguaje:

Hoy la clase de Santiago fue de mucha socialización, y vale la pena decir que muy interesante. En primer lugar, leímos algunos de los diarios de clase de los compañeros, y vemos que poco a poco vamos mejorando nuestra producción textual. El tema de la clase fue: «El lenguaje de la química». En esta clase el profesor nos iba haciendo preguntas, al mismo tiempo que nosotros socializábamos las respuestas; de hecho, aclaramos el concepto de qué es una representación, y entre el grupo concluimos que es una idea o modelo que se hace sobre algún hecho, evento o fenómeno, la cual almacenamos en nuestra memoria.

Dada la importancia que juegan los niveles de representación de la química y sus esquemas conceptuales para la comprensión del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, inicié la enseñanza de este tópico con una actividad que tiene como propósito que los estudiantes conceptualicen los tres niveles de representación, para que de esta manera el colectivo áulico tenga un lenguaje común en el desarrollo de todo el currículo de la química. De hecho, soy consciente de que los textos escolares e incluso los universitarios no abordan esta temática de manera explícita (niveles de representación, esquemas conceptuales y discontinuidad de la materia), y en caso de hacerlo, le dedican poco tiempo y espacio.

Así pues, comencé a abordar la conceptualización de los tres niveles de representación de la química, pidiéndoles a los estudiantes que se organizaran en pequeños grupos de discusión (cuatro estudiantes), y que representaran de forma escrita o gráfica eventos, acontecimientos, procesos u objetos de su vida cotidiana, luego, que respondieran al siguiente interrogante: ¿para usted qué es una representación? Ahora, con esta actividad de aprendizaje pretendía que los estudiantes iniciaran la conceptualización del término representación (idea, concepto, modelo, etc.) en un nivel de tratamiento cualitativo, dado que este se utilizaría a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje de los tópicos del currículo de química. En cuanto a la administración de la actividad, esta se desarrolló tomando en cuenta una organización de la clase en estructura interactiva y pequeños grupos de discusión (Tobin, abril, 1985); al final, los estudiantes produjeron respuestas tales como:

«La representación es como una maqueta que representa un edificio»; «la representación es una gráfica de un objeto»; «la representación es una gráfica de algo», y «la representación es un concepto que hace referencia a un evento, procedimiento, objeto y emociones».

Vale destacar que cada pequeño grupo de discusión socializó sus ideas ante el colectivo áulico; luego de la discusión cooperativa, el grupo en general llega a un consenso en el cual el constructo «representación» está relacionado con las ideas, conceptos y modelos que una persona construye a lo largo de su vida, a través de la interacción con los demás y con su medio, con la intención de predecir, controlar y adaptarse a su entorno. Considero que esta conceptualización del término de representación se construyó en un nivel de tratamiento cualitativo, el cual es coherente con el desarrollo cognitivo de los estudiantes. El siguiente párrafo del diario de una estudiante ilustra las ideas anteriores:

Empezamos un tema llamado «El lenguaje de la química», y el profesor nos pidió que nos organizáramos en grupos de cuatro personas para responder una pregunta, «¿qué es una representación?». Surgieron muchas respuestas, todas muy buenas e igualmente válidas, y llegamos a la conclusión de que una representación es una idea o modelo que se hace sobre algún fenómeno, hecho, evento u objeto por medio de nuestro sistema sensorial, para luego almacenarlo en nuestro cerebro.

En cuanto a la meta que me propuse que alcanzaran los estudiantes a través de esta actividad de enseñanza-aprendizaje, esta hace referencia a dos aspectos: conceptualizar el término de representación y comenzar a negociar significados y formas de significar de manera cooperativa.

Después de haber conceptualizado el término representación, consideré pertinente abordar la construcción del significado de los tres niveles de representación (macroscópico, submicroscópico y simbólico), con el propósito de que los estudiantes comenzaran a superar la dificultad de la diferenciación de los tres niveles con los que llegan a las clases de química; para ello, les pedí que reflexionaran en torno al significado de cada uno de los tres niveles de representación. Así, los aprendices después de un período de discusión cooperativa y reflexión (estructura de pequeños grupos de discusión), exponen las siguientes consideraciones, primero, en cuanto al nivel macroscópico:

«es todo aquellos que es grande»; «todo lo que se puede ver con los ojos»; «todo lo que podemos percibir»; «el planeta Tierra»; «el aire es macroscópico, porque lo podemos sentir con las manos, pero no lo podemos coger».

El siguiente párrafo extraído de un diario de clase de un estudiante describe la realización de la actividad anterior:

[...] surgió otra pregunta, igualmente para resolverla en el pequeño grupo de discusión. «¿Qué es un nivel de representación macroscópico?», y lo discutimos entre todos, llegamos a concluir que es todo aquello que se puede percibir por los sentidos, y que los sentidos no son solamente la vista, sino, también la audición, el tacto, olfato y gusto.

Ahora, durante la socialización el colectivo llega a la conclusión de que el nivel de representación macroscópico es aquel que permite construir las ideas de los objetos, procesos y estados mentales, permitiéndole a las personas predecir, controlar y adaptarse al medio; para ello, utilizan el sistema sensorial como instrumento de descripción de los fenómenos naturales y físicos.

Después de haber tratado la representación macroscópica, pasamos a conceptualizar el nivel submicroscópico, por tanto, los estudiantes debían de darle respuesta a la pregunta ¿qué entienden por nivel de representación submicroscópico? El siguiente fragmento extraído de un diario de clase de un estudiante ilustra cómo se asume este cometido:

Empezamos a trabajar en los pequeños grupos, debíamos de resolver el interrogante, de qué significa el nivel de representación submicroscópico, así que entre el grupo concluimos que es algo que no se puede ver, es decir, es la idea que me permite explicar los fenómenos que sí percibo con mi sistema sensorial, pero no puedo ver directamente.

En cuanto a las concepciones alternativas que se generaron a lo largo de la discusión entre los estudiantes sobre el tópico en cuestión, se explicitan las más destacadas, a saber:

«Es como una célula»; «es como una bacteria»; «lo que no se puede ver a través de los ojos, sino que se tiene que utilizar un instrumento como el microscopio»; «es como los genes de los que nos habla la profesora de biología»; «son partículas, átomos, electrones, protones»; «lo que no se puede ver, pero sabemos que existe y los científicos lo descubren».

Luego de escuchar de manera consciente las respuestas de los estudiantes, les dije que sus modelos de significado no están tan alejados de los modelos sistemáticos que abordan este tema, dado que el nivel de representación submicroscópico va más allá del sistema sensorial, así pues, no se puede percibir con los órganos de los sentidos, de ahí que estas representaciones sean construcciones sociales, cuyo producto son los modelos teóricos que le sirven al hombre para darle sentido a los fenómenos sociales, naturales y físicos, pero estos no son una copia de la realidad, es decir, que este nivel de representación le sirve al sujeto para explicar los eventos de su cotidianidad y, con base en ello, volver predecible y controlable su entorno.

En cuanto al nivel de representación simbólico, los aprendices afirmaron: «son símbolos como la tabla periódica», «son gráficos», «son dibujos». Vale la pena decir que a lo largo de la socialización estuve consciente de las ideas que expresaban los estudiantes, con la intención de monitorear su nivel de comprensión y confusión, y de esta manera poder formular *in situ* una serie de preguntas que induzcan a los estudiantes a construir unos conocimientos con un mayor nivel de elaboración (retroalimentación). De hecho, la serie de preguntas y respuestas que se produjeron durante la interacción de los miembros del colectivo áulico permitió concluir que el nivel de representación simbólico se usa para modelar tanto el mundo macroscópico como el submicroscópico, y que para ello se utilizan símbolos, fórmulas matemáticas, ecuaciones químicas, fórmulas químicas y símbolos químicos.

Finalmente, se concluye que los tres niveles de representación están en continua interacción, además, que resulta pertinente estar consciente del nivel de representación en el que se está trabajando o tener consciencia del momento en que el profesor se mueve de un nivel de representación a otro, para evitar sobrecargar la memoria de trabajo, hecho que hace que se genere una ruptura entre el conocimiento nuevo que se le está presentado al estudiante y el conocimiento que tiene almacenado en la memoria permanente.

Después de lo anterior, consideré pertinente fortalecer los conceptos que habían sido contruidos a partir de situaciones teóricas; para ello, empleé un vaso con agua para hacerle una demostración a los estudiantes y proceder a interrogarlos.

- P: ¿Cuál es la naturaleza de la sustancia que está en el vaso?
- E: Es agua.
- P: ¿En qué nivel de representación estamos trabajando entonces?
- E: En el macro.

A continuación, escribí la fórmula del agua en el tablero, comenzado a explicarles que este es un compuesto constituido por millones de moléculas; luego, vuelvo a interrogarlos:

— P: ¿En qué nivel estamos trabajando ahora?

— E: En el nivel simbólico y microscópico.

— P: ¿Por qué?

— E: Usted está hablando de moléculas, además, representó la fórmula de la molécula del agua en el tablero.

De hecho, este diálogo socrático me permite reflexionar en la acción y generar una serie de preguntas a los estudiantes que los oriente a la construcción de ideas más elaboradas, asimismo, este tipo de organización de la clase genera oportunidades para monitorear el nivel de comprensión, confusión y compromiso de los estudiantes, con la intención de producir estrategias *in situ* que orientarán a los estudiantes a construir una conceptualización de los niveles de representación, sino la más elaborada, por lo menos la más aproximada a los modelos de la ciencia. Hay que destacar que con esta actividad de aprendizaje pretendo que mis estudiantes logren ser conscientes de la existencia e integración de los tres niveles de representación; así, para cuando me mueva de un nivel de representación a otro durante el tratamiento de un tema del currículo de la química, no vaya a sobrecargar su memoria de trabajo, haciendo que se genere una ruptura entre el conocimiento nuevo que se está abordando y el conocimiento previo con el que llega el estudiante.

Ahora, consideré que después de que los estudiantes comenzaron a conceptualizar los tres niveles de representación era esencial que se concientizaran del estándar que se pretendía consolidar durante este ciclo de enseñanza-aprendizaje, el cual se expresa, desde la posición del estudiante, como sigue: **«Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia, y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen»**. Así pues, les pedí a los estudiantes que comenzaran a leer el estándar de manera individual, de tal forma que se hicieran una primera idea del sentido del mismo. Luego, le solicité al estudiante Jefferson que lo leyera en voz alta, mientras el resto lo hacía mentalmente. Vale la pena señalar que el hecho de haber abordado la conceptualización de los tres niveles de representación en las primeras clases tuvo como objetivo que los estudiantes pudieran construir un marco teórico coherente, que les permitiera darle sentido al estándar a desarrollar durante el año lectivo.

Después de haber leído el estándar de manera cooperativa (toda la clase), algunos aprendices se atrevieron a afirmar que este se encuentra muy relacionado con los niveles de representación abordados en las clases pasadas; por lo tanto, aproveché esta afirmación de los estudiantes para declararles que este estándar es un instrumento que les permitirá desarrollar de manera progresiva en su estructura cognitiva tanto los esquemas conceptuales de interacción, conservación, equilibrio, proporcionalidad, correlación y probabilidad, como las competencias lingüísticas. En otras palabras, que las grandes ideas (específicamente hablando de la existencia de partículas, movimiento intrínseco de las partículas, espacio vacío entre las partículas, cambios de estado, cambios físicos, cambios químicos y sustancias puras) serán el medio a través del cual podremos desarrollar esquemas conceptuales, patrones de razonamiento generales y específicos de la química; de hecho, se les explicó que los núcleos conceptuales de la química no son un fin en sí mismos, sino un instrumento para alcanzar unas metas generalizables o transferibles a otros campos del conocimiento que nos ofrece la cultura. Un relato extraído del diario de un aprendiz deja ver la conceptualización que le dieron al estándar para este ciclo:

Después de esto, sacamos la guía con la intención de leer el estándar que desarrollaríamos a lo largo del curso. Comenzamos a trabajar en grupos con el propósito de darle una definición a la palabra de estándar; para ello, algunos utilizamos el diccionario y otros no; finalmente, llegamos a una definición de qué era un estándar y entre todos dimos varios conceptos; por ejemplo, concluimos que era un modelo o patrón a seguir.

En lo referente a la conceptualización de los esquemas conceptuales de la química (cualitativos: interacción sistémica, conservación y equilibrio; cuantitativos: proporcionalidad, correlación y probabilidad); se procedió a introducir a los estudiantes en este tópico a través de una clase de estructura no interactiva, en donde de manera magistral se desarrolló cada uno de los esquemas, con la intención de que comenzaran por lo menos a ser conscientes de su existencia. De hecho, los esquemas no se desarrollan de forma natural, sino que se necesita de una intervención prolongada que incluya el aprendizaje de los núcleos conceptuales; en efecto, estos dos elementos de la química se afectan mutuamente, es decir, los núcleos sirven para ayudar a desarrollar los esquemas y estos últimos para poder darle sentido a los núcleos. El siguiente fragmento del diario de clases de una estudiante ilustra lo anterior:

El profesor nos dice que los modelos o las formas en que nosotros representamos todo lo que percibimos por medio de los sentidos nos han servido, hasta el momento, para darle significado a los fenómenos naturales o físicos, pero que muchas de estas representaciones están alejadas de los modelos de la ciencia, así que él, a través de la enseñanza de los esquemas conceptuales como: la conservación, interacción y equilibrio, va a ayudarnos a construir modelos más sistemáticos que los iniciales, además de permitir que desarrollemos los esquemas de pensamiento.

Al presentarse la anterior situación, veo la oportunidad de utilizarla como un ejemplo que me permita explicar el sentido del término sistema e interacción, así que le relaté a los estudiantes que los núcleos conceptuales, los niveles de representación y los esquemas conceptuales, son considerados sistemas que en el acto educativo están en una interacción, en donde los tres se afectan mutuamente y dan origen a un sistema complejo. También, les comenté que debido a esta interacción se da un fenómeno denominado aprendizaje, es decir, hay una comprensión y un desarrollo cognitivo del sujeto. Otro ejemplo que usé para representar los términos de sistema e interacción es el del aula, la cual conceptualicé como un sistema complejo formado tanto por los estudiantes como por el profesor, en donde existe una interacción bidireccional entre sus diferentes miembros, por ende, estos se afectan mutuamente, generándose un aprendizaje entre los diferentes elementos del sistema. Ahora, para ilustrar el primer ejemplo, representé en el tablero el modelo presentado en la Figura 4.1.

Un fragmento extraído del diario de un estudiante deja evidenciar lo explicado en la clase:

A través del organizador previo de la unidad didáctica, el profesor Santiago nos explicó la relación entre el nivel de representación de la química (los tres niveles de representación), los núcleos conceptuales y los esquemas conceptuales de la química; además de la importancia de la interacción de estos sistemas para ayudarnos a desarrollar ideas que nos permitan interpretar los fenómenos físicos y químicos.

Volviendo a la conceptualización de los esquemas, consideré pertinente aclararle a los estudiantes que ellos deben estar conscientes de cuál es el elemento del metasistema del acto educativo de la química (nivel de representación, esquemas conceptuales, núcleos conceptuales) en el que están ellos trabajando al momento de realizar una tarea; por ejemplo, si se encuentran «Explicando la disolución», actividad en que se aborda la gran idea de los espacios vacíos entre las partículas, ellos deberán ser conscientes de que se están potencializando los esquemas conceptuales

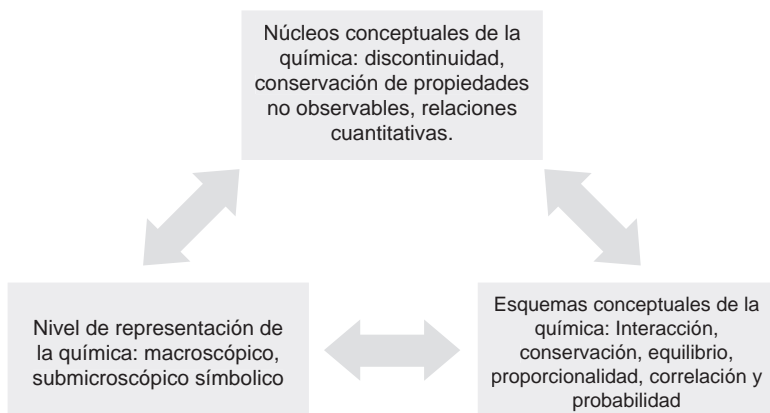


Figura 4.1. Metasistema que fundamenta el aprendizaje de los conceptos de la química y permite el desarrollo de esquemas de pensamiento formal

Fuente: Candela, 2012.

de interacción, conservación y equilibrio, además de trabajar los núcleos conceptuales de la discontinuidad de la materia y la conservación de propiedades no observables; ahora, para ello, utilizarán los tres niveles de representación de la química. Como lo relata una estudiante en su diario de clase:

[...] el profesor Santiago nos dice que en cada actividad de aprendizaje debemos de estar conscientes de los diferentes esquemas, núcleos conceptuales y niveles de representación que estamos abordando, dado que de esta forma podremos ir desarrollando cada uno de ellos.

Finalmente, les comuniqué a los estudiantes que durante toda actividad de enseñanza-aprendizaje del currículo de la química se abordarán de manera integrada los sistemas de niveles de representación, esquemas conceptuales y núcleos conceptuales, con la intención de generar oportunidades que permitan el desarrollo progresivo de cada uno de estos elementos.

PaP-eR N.º 2

Diferenciación e integración de los niveles de representación macroscópico y submicroscópico para darle sentido a los cambios de estado físico

Introducción

En este PaP-eR se relatan las diferentes acciones inteligentes que el profesor Santiago moviliza al aula con la intención de ayudar a sus estudian-

tes a diferenciar e integrar los tres niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico), lo que les permitiría poder comprender que las propiedades aparentes de la materia dependen de la interacción, movimiento y arreglo de las partículas a nivel submicroscópico. Adicionalmente, en este documento se retratan las actividades de enseñanza que brindan a los estudiantes la oportunidad de desarrollar los esquemas cualitativos de la química (interacción de sistemas, conservación y equilibrio).

El pensamiento de Santiago durante la planeación

Considero que el tema de los cambios de estado ha recibido muy poca atención, por el poco tiempo y espacio a él dedicado por parte de los profesores de química y los textos escolares; de hecho, durante mi experiencia de 22 años en la enseñanza de la química, he observado que en los textos escolares de secundaria y en los de primer año de universidad se le brinda unas pocas líneas al desarrollo de los mecanismos explicativos que subyacen a los cambios de la materia. Desde luego, el magisterio también presenta esta dificultad, la cual los ha llevado a diseñar actividades de enseñanza en las que se dedican unos pocos minutos de la clase al «desarrollo» de este contenido, además, se han focalizado en el estudio de las propiedades macroscópicas de la materia, descuidando el análisis de las características del mundo submicroscópico; supongo que el propósito perseguido por este tipo de profesores es que los estudiantes logren memorizar un conjunto de términos relacionados con los cambios de fase, para que posteriormente los repliquen como un «loro» al momento de enfrentarse a un examen escrito. El siguiente relato del profesor, registrado durante la entrevista, permite evidenciar la anterior idea:

La noción de los estados de agregación de la materia recibe, de parte de los profesores de los tres niveles de escolarización y de los textos escolares, poco tiempo y espacio para el desarrollo de este tópico específico; de hecho, se abordan de forma simplificada, reduccionista y desarticulada, lo cual puede ser una de las causas por las que los estudiantes siguen teniendo las mismas ideas acerca de los cambios de estado físico, a pesar de haber recibido una enseñanza en donde se abordó esta temática.

Lo anterior me ha permitido ver que tanto los textos escolares como los profesores de química abordan esta temática desde una perspectiva reduccionista, dado que solo toman en cuenta el nivel de representación macroscópico y omiten los otros dos niveles de representación (submicroscópico y simbólico), adicionalmente, no asumen de manera explícita la planeación de actividades de enseñanza apropiadas para que los estudiantes desarrollen

los esquemas conceptuales de la química (interacción de sistemas, conservación y equilibrio). Debe destacarse que estos esquemas constituyen los principios a través de los cuales se han construido los conceptos científicos, por cuanto que sin estos esquemas de orden superior resulta imposible que el aprendiz pueda darle sentido a los núcleos conceptuales de la química a nivel molecular; ahora, a su vez, los núcleos son un instrumento para potenciar los esquemas, pudiendo concluir que estos elementos le servirían a los estudiantes para interpretar los fenómenos químicos y físicos desde una perspectiva submicroscópica.

A causa del descuido que han sufrido los esquemas conceptuales durante la planeación y la enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, los aprendices han interpretado los cambios de estado físico desde una perspectiva descriptiva, centrándose en el mundo macroscópico y la temperatura; para ello, han hecho uso de las representaciones que han construido, en primer lugar, a través de la interacción de su sistema sensorial con su medio natural y, en segundo lugar, por medio de la escolarización, que en muchas ocasiones, por su tipo de instrucción, lo que ha hecho es reforzar las concepciones alternativas. Lo anterior bien puede evidenciarse en un fragmento, extraído del diario de campo, que corresponde a una discusión entre el profesor y los integrantes de un pequeño grupo acerca de la Tarea n.º 4 de la unidad didáctica «Fabricando materiales» (ver Anexo 4):

- P: ¿Cuáles son las semejanzas entre los procesos que ha observado?
- F: Los cambios de estado.
- P: ¿En qué nivel de representación está esa semejanza?
- E: En el nivel de representación macroscópico.
- P: ¿Qué otra semejanza tienen?
- A: Los cambios de temperatura.
- P: ¿Ahora, cuáles son las diferencias?
- A: Que el estado inicial del mármol es gaseoso y el de la varilla es sólido, ya que es un mineral extraído de las minas de hierro.
- P: Estas diferencias en qué nivel de representación se dan.
- A: En el nivel macroscópico.
- P: Analicen los dos procesos, pero ahora a nivel submicroscópico.

Ahora bien, las múltiples planeaciones y enseñanzas de este tópico, junto con la reflexión en torno a los resultados de la planeación y enseñanza, además del estudio de la literatura pertinente, me han permitido evidenciar que la integración sinérgica de los anteriores elementos permitirían, en primer lugar, al profesor, orientar de una forma efectiva las actividades de enseñan-

za y, en segundo lugar, al estudiante, comprender a nivel molecular el porqué de los cambios de la materia. De hecho, en el momento en que el profesor aborde la enseñanza-aprendizaje de este tópico desde este enfoque holístico, podría generar oportunidades que ayuden a que el razonamiento del estudiante se movilice desde una comprensión descriptiva del fenómeno en cuestión hacia una comprensión explicativa, de acuerdo a la cual debería de hacer uso de elementos tales como los tres niveles de representación de la química de forma integral y los esquemas conceptuales de esta disciplina, que direccionan hacia un razonamiento explicativo en lugar de uno descriptivo.

Por lo que se refiere a las dificultades para comprender los mecanismos que subyacen a los cambios de estado, he evidenciado que la enseñanza-aprendizaje de este tópico, focalizada desde una perspectiva del esquema conceptual de la interacción, presentan un mayor grado de dificultad comparado con la enseñanza de las disoluciones y los cambios químicos, puesto que por medio de la primera el estudiante solo percibe una sustancia y no es consciente de que las partículas que conforman el sistema están interactuando; caso contrario sucede con la enseñanza de las disoluciones y las reacciones químicas, en las cuales interactúan más de dos sustancias que son percibidas por el sistema sensorial del sujeto.

Ahora, la enseñanza-aprendizaje focalizada en el desarrollo del esquema conceptual de la conservación (número de partículas, masa y naturaleza de la sustancia) presenta a los estudiantes un menor nivel de dificultad para comprender los cambios de estado a nivel molecular, en comparación con el aprendizaje de los tópicos de cambios químicos y disoluciones. Efectivamente, debido a que en las dos últimas situaciones intervienen más de dos sustancias, los estudiantes, sin hacer un análisis submicroscópico del fenómeno en cuestión, pueden asumir que no solo cambia la apariencia de la sustancia, sino también su identidad, es decir, la interacción de dos o más sustancias le suenan al aprendiz más a un cambio químico. Mientras que los procesos en donde cambia la apariencia de una sola sustancia (cambios de estado físicos) le facilitan al aprendiz poder comprender que, a pesar del cambio de apariencia, las partículas siguen conservando su identidad.

Así que, para ayudarle al estudiante a superar las anteriores dificultades, el profesor debe diseñar actividades de enseñanza focalizadas en situaciones concretas que le permitan al aprendiz establecer una relación sistemática entre propiedades de la materia tales como movimiento intrínseco de las partículas, arreglo y energía cinética de las partículas; además, de concientizarse de la idea de que estas propiedades están condicionadas por la interacción entre las partículas de diferentes sistemas o de un mismo sistema, por cuanto este evento generaría un flujo de energía (calor) del

sistema de mayor temperatura al de menor temperatura hasta que se alcance un equilibrio térmico. Dicho de otra forma, ya no se trata solo de que el estudiante atribuya movimiento a las partículas, sino de relacionar este fenómeno a los cambios producidos en la temperatura y la distribución de las partículas, a causa del fenómeno de la interacción con otro sistema o con las partículas que conforman la sustancia.

En cuanto a la manera en que los estudiantes representan los diferentes estados de la materia, he visto que utilizan diferentes modelos representacionales para cada fase de una misma sustancia, opuesto a lo que sucede con la teoría cinética, la cual representa los diversos estados físicos de la materia a partir de un único modelo representacional. Presupongo que esta dificultad se deba a la diferencia de la naturaleza fenomenológica de cada uno de los estados físicos de la materia, en especial de las fases sólida y gaseosa, las cuales presentan características perceptivas totalmente opuestas, además, a la falta del desarrollo de los esquemas conceptuales de interacción, conservación y equilibrio por parte del estudiante. De hecho, la literatura ha llegado a la conclusión de que los aprendices conciben la materia tal como la perciben; por eso, no resulta extraño que representen de forma diferente la materia sólida, líquida y gaseosa.

Debe resaltarse que una dificultad que recoge a las anteriores hace referencia a la indiferenciación entre el mundo macroscópico y el mundo submicroscópico que los estudiantes conservan, aspecto que los lleva a asignarle propiedades del mundo macroscópico a las partículas, por ejemplo, dicen que las partículas de mármol se derriten o que las moléculas de los casquetes polares se funden. Asimismo, esta falta de diferenciación e integración de los niveles de representación macroscópico y submicroscópico han hecho que el aprendiz interprete los modelos científicos a partir de sus modelos intuitivos, degenerando los primeros. Un ejemplo es lo deducido en medio de un diálogo entre el profesor y un pequeño grupo de discusión durante la práctica de laboratorio de cambios de estado físicos:

- [...] P: Sí, sí ¿pero cómo vos percibís el olor?, ¿qué ha sucedido en la estructura submicroscópica de esa sustancia para que esta llegara a la nariz de nosotros?
- C: Pequeñas partículas que se esparcieron en el aire, es decir, que salieron del tubo.
- P: Cuando vos me decís pequeñas partículas ¿a qué te referís?, ¿a trocitos de ácido o a partículas?
- Q: **Partículas que se vuelven como gaseosas cuando salen del recipiente.**

- P: ¿Las partículas se vuelven gaseosas o se separan?
- C: No, se separan, y de esta manera salen del recipiente y por eso podemos percibir el olor de esta sustancia.

Finalmente, a causa de las dificultades que presentan los estudiantes para aplicar de manera espontánea los modelos de la teoría cinético-molecular en la interpretación de los cambios de estado de la materia, considero pertinente diseñar actividades de enseñanza que le permitan al estudiante poder diferenciar e integrar claramente los tres niveles de representación de la química, así como desarrollar los esquemas conceptuales de la misma; con la intención de que superen la limitación representada en asignar propiedades del mundo macroscópico al mundo submicroscópico, que los lleva a interpretar los modelo de la teoría cinético molecular a partir de sus modelos intuitivos, generando unas representaciones mixtas, y no al contrario, como es el propósito de la educación en química, de ahí la utilidad de la estrategia de enseñanza que se propone.

En este sentido, se hace necesario el diseño de actividades de enseñanza-aprendizaje en las que los estudiantes deban interpretar y explicar los diferentes cambios de la materia a nivel submicroscópico (físicos y químicos), y que para ello empleen el modelo cinético molecular, que les permitiría correlacionar las variables del sistema, tales como interacción entre las partículas, movimiento intrínseco de las partículas, temperatura del sistema (o los sistemas), arreglo de las partículas y densidad. Asimismo, este tipo de actividad le ayudaría a los estudiantes a comprender la diferencia entre un fenómeno y la teoría o modelo que intenta explicar ese evento.

Acciones inteligentes del profesor durante la clase

El profesor Santiago planeó y enseñó la gran idea de los cambios de estado a través de una situación problema que denominó: «**Fabricando materiales**» (ver Anexo 4), que extrajo del libro *Didáctica de las ciencias: Resolución de problemas y desarrollo de la creatividad* (García, 2003). Inicialmente, comunicó a sus estudiantes los dos propósitos de esta actividad de enseñanza-aprendizaje; el primero hace referencia a inducirlos a realizar un análisis submicroscópico del proceso de los cambios de fase de la materia y el segundo tiene que ver con el desarrollo de los esquemas conceptuales de interacción, conservación y equilibrio térmico.

En cuanto al esquema de conservación de la masa y de la sustancia, el profesor afirma que es un elemento muy importante, considerando que este es fundamental para poder comprender la diferencia entre un cambio físico y un cambio químico a nivel molecular, tópicos que serán abordados más

adelante durante el desarrollo del currículo de la química. De hecho, el estudio de la literatura pertinente, junto con la experiencia de planear y enseñar este contenido, le ha permitido corroborar que estos conceptos tienen un nivel de dificultad muy alto, debido a que los estudiantes no han comenzado a desarrollar este esquema conceptual cuando afrontan el aprendizaje de estos tópicos. El siguiente fragmento de la entrevista con el profesor Santiago permite ilustrar la anterior idea:

[...] esta actividad teórica les permitirá iniciar la conceptualización de la gran idea de los cambios de fase tanto a nivel macroscópico como submicroscópico, adicionalmente, comenzarán a desarrollar los esquemas conceptuales de interacción, conservación y equilibrio térmico; para ello, la tarea les pedirá a los estudiantes representar en forma gráfica los procesos de la fabricación del mármol (gaseoso, líquido y sólido) y el proceso inverso del descongelamiento del agua en los casquetes polares (sólido, líquido y gaseoso). No pretendo que construyan una conceptualización de este proceso y desarrollen los esquemas conceptuales a partir de una sola actividad de enseñanza, por el contrario, iremos construyéndolo de manera progresiva, es decir, que ésta no será la única actividad donde trataremos con esta idea y estos esquemas, sino que de aquí en adelante abordaremos todos estos aspectos en los cuales hemos secuenciado el núcleo de la discontinuidad de la materia, eso sí, manteniendo la concepción de desarrollo progresivo de cada uno de ellos.

Otro aspecto que él destaca, hace referencia a que la situación problema estará focalizada en el tema de los cambios de estado, sin embargo, esto no quiere decir que no se aborden las otras grandes ideas durante el desarrollo de esta actividad, sino, por el contrario, cada una de estas ideas en las cuales se ha secuenciado la enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, se desarrollarán en forma de espiral; es decir, se tiene como propósito fundamental que cada una de las tareas planeadas aporten al desarrollo de todos los tópicos de una manera diferencial.

En cuanto al desarrollo de la situación problema «Fabricando materiales», el profesor les informa a los estudiantes que lo primero que deben hacer es leerla de forma individual y después de manera cooperativa al interior de los pequeños grupos de discusión, luego, deberán construir una posible hipótesis para cada una de las tareas problema propuestas (ver Anexo 4). Además, tendrán que escoger un compañero del equipo de trabajo para que socialice la hipótesis y la defienda ante el colectivo áulico.

Se debe resaltar que el profesor constantemente rota por los diferentes grupos de discusión, con el propósito deliberado de monitorear el nivel de comprensión, confusión y el compromiso de los estudiantes con el trabajo

académico. Ahora, cuando él evidencia concepciones alternativas en el discurso de los integrantes de los pequeños grupos de discusión, de inmediato diseña preguntas *in situ* para inducir a los estudiantes a construir unas respuestas con mayor grado elaboración.

Regresando al desarrollo de la actividad, se puede decir que después de un período de discusión al interior de los pequeños grupos, cada uno de los representantes pasa al frente del colectivo áulico para socializar y defender la postura de su equipo de trabajo; para ello, utilizan carteleras o murales en donde consignan sus modelos representacionales de los procesos de cambio de estado del mármol y del agua. (ver Anexo 4). Ahora, esta situación le permite al profesor evidenciar las concepciones alternativas sobre los cambios de estado físico y la falta de desarrollo de los esquemas de interacción, conservación y equilibrio. En efecto, los modelos representacionales dejan ver que algunos estudiantes, a pesar de haber recibido una instrucción previa donde se abordó el núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia (grados 6.º, 7.º, 8.º y 9.º de educación secundaria), siguen manteniendo unos modelos mixtos entre la concepción continua y discontinua de la materia. Por ejemplo, representan dentro del volcán al mármol en términos de partículas (nivel de representación submicroscópico y fase gaseosa), no obstante, cuando este sale del volcán, le otorgan un carácter continuo (nivel representacional macroscópico), es decir, simbolizan la lava en el estado líquido fluyendo por la montaña.

Por lo que se refiere a la conservación de la cualidad de la sustancia y la conservación de la masa, los modelos representacionales intuitivos de los estudiantes a nivel submicroscópico le dejan ver al profesor que estos no han desarrollado aún este esquema. Así, características de las representaciones utilizadas para representar las partículas, como la forma, el diámetro, el color y la cantidad de los símbolos, no se conservan durante el cambio de estado físico. Adicionalmente, algunos grupos de discusión representaron los dos procesos: el de la formación del mármol y el de descongelamiento del agua, solo a nivel macroscópico.

De ahí que el profesor vea esta actividad de aprendizaje como una oportunidad para comenzar a hacer que sus estudiantes tomen conciencia de la existencia del esquema conceptual de la conservación del número de partículas y de la sustancia, dado que este es un prerrequisito para más adelante comprender los temas de cambio físico, cambio químico, reacciones químicas, ecuaciones químicas, además de las leyes ponderales de la química.

Adicionalmente, durante la interacción entre el profesor y los estudiantes (estructura de clase interactiva), el profesor pudo evidenciar que mu-

chos de sus aprendices, cuando estaban dando la explicación de los cambios de fase, sustancializaron el calor o la energía; este hecho se evidencia, por ejemplo, en frases como «moléculas de calor» y «partículas de energía»; también realizaron gráficos en donde asumen el calor como partícula que conforma un sistema (ver Figura 4.2).

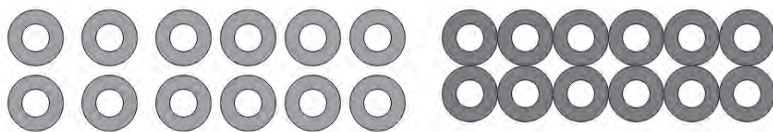


Figura 4.2. Representación de las partículas del sistema de agua congelada (círculos oscuros) y el sistema de partículas de calor (círculos claros), elaborada por los estudiantes para materializar el calor

Hay que hacer notar que, al monitorear las dificultades y concepciones alternativas de sus estudiantes, el profesor reflexiona en la acción, esto le permite de manera inmediata diseñar demostraciones *in situ*, acompañadas por series de interrogantes dirigidas a los estudiantes, todo esto contribuye a que los estudiantes enfrenten sus dificultades y concepciones intuitivas, así como también a que comiencen a desarrollar los esquemas cualitativos de la química, que les permitirá darle sentido al tópico en consideración.

Por ejemplo, durante la explicación que los estudiantes hacen acerca del proceso de los cambios de fase (sólido, líquido y gaseoso), expresan que estos se producen debido a los cambios de temperatura, por cuanto estos debilitan las fuerzas entre las partículas y así aumentan los espacios entre ellas, haciendo que las partículas adquieran más velocidad en su movimiento. Por lo tanto, los estudiantes no toman en cuenta al aire como un sistema que está interaccionando con el mármol y los casquetes polares. Entonces, cuando el profesor pide a los aprendices que le respondan el siguiente interrogante: ¿cuáles son los sistemas, además del agua, que aparecen en el proceso del descongelamiento de los casquetes polares? La mayoría de los estudiantes responden de la siguiente manera: «el otro sistema son las moléculas de calor que permanecen en el ambiente».

Luego de este hecho, el profesor se queda por un instante en un acto de reflexión; enseguida le pide a Camilo el favor de que vaya a la tienda y solicite que le regalen un bloque de hielo. Ahora, cuando Camilo llega con el hielo, el profesor lo muestra a la clase, y hace que algunos estudiantes lo toquen, para posteriormente plantearles el siguiente interrogante:

— Profesor: el cubo de hielo es un sistema formado por partículas, ¿cuál sería el otro sistema con el que el hielo está en interacción?

El profesor les dice que se tomen un tiempo de ocho minutos para que discutan en torno al interrogante al interior de los subgrupos de trabajo. Después de transcurrido el tiempo, les pide que expliciten sus hipótesis.

— Quintana: El otro sistema puede ser el ambiente.

— Profesor: A que te refieres con el ambiente.

— Quintana: Al viento.

— Profesor: ¿Qué es el viento?

— Alexis: Es el movimiento del aire.

— Profesor: Entonces cuál es el otro sistema con el que en este momento está interaccionando el bloque de hielo.

— Carlos: Pues el aire.

— Profesor: Entonces, por qué no aparece representado en el modelo del descongelamiento.

— Alexis: Lo que sucede es que no lo podemos ver. Pero se sobreentiende que está allí.

— Profesor: ¿El aire será materia?

— Melissa: Sí, ocupa un espacio y tiene masa.

— Quintana: Entonces, el aire también está formado de partículas.

— Profesor: Sí, las partículas de aire interaccionan con las partículas de agua, entonces, ¿qué fenómeno físico se origina de esta interacción?

— Wilson: El de la temperatura, ya que esta descende debido a la interacción.

— Profesor: ¿Cuál temperatura descende, la del agua o la del aire?

El colectivo áulico guarda silencio.

Nuevamente, el profesor advierte que sus estudiantes están teniendo dificultad para internalizar el concepto de calor y temperatura a un nivel de tratamiento cualitativo, así que no se desespera, sino que nuevamente reflexiona en la acción y diseña una demostración para ayudar a los estudiantes a superar sus dificultades. Por ejemplo, en esta ocasión utilizó un vaso con agua del grifo, una taza de café caliente y un termómetro; procede a pedirle el favor a uno de los aprendices de que determine la temperatura de cada uno de los sistemas (agua y café), obteniéndose los siguientes datos: el café tiene 50 °C y el agua 27 °C; entonces, procede a introducir el sistema café dentro del sistema agua. De inmediato le pide a los estudiantes que discutan en los subgrupos en torno al siguiente interrogante: ¿qué le sucede

a la temperatura de los dos sistemas? Después de un período los estudiantes comienzan a emitir sus hipótesis.

- Alejandra: Lógico, se enfría el café, así lo hace algunas veces mi mamá cuando tiene prisa.
- Alexis: Sí, se enfría el café, ya que este le entrega energía al agua.
- Profesor: ¿Qué habrá pasado con la temperatura del agua?
- Alexis: Ha aumentado.
- Profesor: ¿Hasta cuándo aumenta o disminuye la temperatura de los sistemas que están interaccionando?
- Maicol: Después de un tiempo, tanto el café como el agua están fríos.

Al final de la demostración el profesor le pide a una niña que determine la temperatura tanto del café como del agua; la estudiante encuentra que ambos sistemas tenían la misma temperatura (25 °C); ahora, este dato empírico el profesor lo utiliza para fundamentar el esquema del equilibrio térmico.

Finalmente, el profesor, utilizando una estructura de clase no interactiva, explica que los sistemas café y agua se encuentran en interacción, es decir, que sus partículas están interactuando, así, este proceso generaría un flujo de energía del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura, hasta que se igualen las temperaturas de los sistemas que están interaccionando, esto es, cuando se alcanza un equilibrio térmico (esquema de equilibrio). Adicionalmente, el maestro destaca que el calor no es una identidad material, sino un proceso que se origina por la interacción de dos o más sistemas, pero los sujetos lo categorizan como materia, gracias a que sus representaciones están condicionadas por el sistema sensorial. Asimismo, afirma que a la energía no se le puede atribuir características de las entidades materiales (por ejemplo, que se gasta), dado que esta es adscripta a la categoría de procesos, según Chi et al. (1994).

Ahora, el enseñante enfatiza que debido a la interacción de los dos sistemas se genera una transferencia de energía del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura (a este fenómeno los científicos lo han llamado calor), esto hace que los dos sistemas se afecten mutuamente (interacción bidireccional), dando lugar a un estado de equilibrio térmico.

No obstante a todas las actividades desarrolladas hasta el momento, el profesor ve la necesidad de graficar un modelo representacional de los sistemas tanto a nivel macroscópico como submicroscópico (ver Figuras 4.3 y 4.4).

Se debe destacar que a lo largo del acto educativo el profesor logra evidenciar que sus estudiantes están respondiendo a las tareas problema a través de modelos descriptivos sin percatarse de la existencia de los modelos



Figura 4.3. Representación a nivel macroscópico empleada por el profesor para mostrar dos sistemas en interacción termodinámica

Fuente: Candela, 2012.

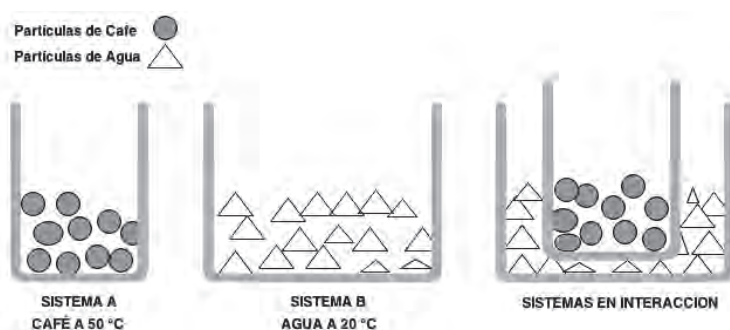


Figura 4.4. Representación a nivel submicroscópico en donde se observan dos sistemas interactuando, utilizada por el profesor para explicar el concepto de calor

Fuente: Candela, 2012.

explicativos (posiblemente desconocen la diferencia entre descripción y explicación), por lo que toma la decisión de abordar esta temática; para ello, le pide a los aprendices que describan el salón de clases; de inmediato ellos comienzan a enumerar una serie de atributos del mismo, lo que los lleva al final a conceptualizar la descripción como el proceso por el cual se asignan atributos a un objeto, evento o proceso. En cuanto a la conceptualización de los modelos explicativos, el profesor utiliza el hecho de la ausencia de uno de los estudiantes, entonces procede a interrogar al grupo por las causas de este acontecimiento; situación que le permite a los aprendices comenzar a enumerar un conjunto de las posibles causas de la ausencia del compañero y, por último, a considerar que una explicación es un proceso por el cual se buscan la(s) causa(s) a un(os) efecto(s).

Por lo que se refiere a la competencia científica de interrogarse e interrogar, el profesor ve la actividad de la socialización de las hipótesis como la oportunidad para ayudar a sus estudiantes a desarrollar esta competencia;

para ello, les pide que al finalizar cada exposición de las hipótesis le formulen preguntas al estudiante que está defendiendo la postura de su pequeño grupo de discusión, no con el ánimo de hacerlo sentir incomodo, sino con la intención de que aprenda a fundamentar sus respuestas. Ahora, esta idea se puede evidenciar en el siguiente fragmento de una discusión registrada durante la clase:

- Liliana: ¿Por qué las partículas de aire las representaron más grandes que las de la lava?
- Gina: Pienso que es el gráfico, pero no podemos por ahora saberlo.
- Liliana: **¿Por qué representaron las partículas de la lava dentro del volcán tan juntas, siendo que están en el estado gaseoso?**
- Carlos: Son errores del gráfico, ya que tenemos claro que la lava dentro del volcán está en estado líquido, debido a las altas temperaturas que existen allí, así pues, las partículas de la lava deben de representarse separadas y moviéndose en diferentes direcciones.
- Susana: ¿Se conserva el número de partículas de la lava cuando esta cambia de estado físico?
- Gina: Sí, se conserva el número de partículas, lo que cambia es el estado físico.
- Patricia: Nombra los esquemas conceptuales de la química que son necesarios para explicar los cambios de estado.
- Carlos: El de conservación del número de partículas, además, la interacción y el equilibrio de la temperatura.
- Patricia: ¿Qué hace que la temperatura disminuya cuando asciende la lava por el volcán?
- Carlos: Esta interactúa con otro sistema.
- Patricia: ¿Y cuándo interactúa con otro sistema que puede suceder?
- Aura: Un equilibrio.
- Profesor: Equilibrio de qué.
- Carlos: De las partículas del volcán.
- Patricia: ¿Qué se equilibra?
- Gina: La energía, el calor y la temperatura de las partículas de lava y de aire.
- Wilson: Para realizar la exposición utilizaron un proceso explicativo o descriptivo.
- Gina: Descriptivo y explicativo, ya que enumeramos características del proceso, además, también nombramos causas del porqué se dan los cambios de estado.

- Francia: ¿Cuáles niveles de representación aparecen en la gráfica? (la estudiante se refiere a la gráfica del proceso de fabricación de la lava y el descongelamiento de los casquetes polares).
- Carlos: Nosotros utilizamos los niveles macro y submicro.

Ahora, con la Tarea n.º 4 de la unidad didáctica, «Fabricando materiales», el profesor intenta ayudar a los estudiantes a identificar el papel clave que juegan las variables de temperatura y presión en los procesos de cambio de fase. Él es consciente de que la conceptualización de estos dos factores es un prerrequisito para poder comprender los tópicos de diagramas de fases y las curvas de calentamiento, e igualmente para superar la concepción intuitiva de que los cambios de fase son causados únicamente por variaciones de temperatura; a su vez, prevé que de esta manera puede conseguir que los estudiantes den una explicación racional a fenómenos cotidianos como la licuefacción del aire y la fabricación del hielo seco (dióxido de carbono que a temperatura ambiente tiene una apariencia gaseosa).

Como es la costumbre del profesor Santiago, cuando la clase está organizada en estructura de pequeños grupos de discusión, él rota por cada uno de estos con el propósito de monitorear el nivel de comprensión y confusión; esta ocasión no iba ser la excepción. De hecho, en una de las interacciones con estos grupos pudo evidenciar que los estudiantes no tenían claro el concepto de presión; por eso, de inmediato hace una representación de este tópico, diciéndoles: la presión es la fuerza que se hace sobre un área cuando dos o más sistemas están en interacción. Adicionalmente, implementa el siguiente juego de roles: le da a dos niñas, que se colocan de espalda la una a la otra, el papel de partículas y establece que sus hombros representarán el área que entra en contacto cuando haya una colisión entre ellas; después, le pide el favor a otro estudiante que ejerza una fuerza que empuje a una de las niñas mientras que él ejerce sobre la otra niña una fuerza en dirección contraria; como resultado de esta acción (presión), las niñas se acercan, disminuyendo el espacio entre ellas.

Posteriormente, les pide a los estudiantes que hagan una demostración; para ello, le entrega una jeringa a cada uno de los grupos, diciéndoles que tapen el orificio de salida y ejerzan una fuerza sobre el émbolo, y que observen lo que sucede. Después de unos minutos tiene lugar una interacción profesor-estudiantes que da como resultado la siguiente serie de preguntas y respuestas:

- P: ¿Qué pasa con las partículas de la sustancia que está en estado gaseoso en el interior de la jeringa?

- M: Se le ejerce una presión.
- D: Se chocan entre ellas.
- P: ¿Qué pasa con el espacio entre las partículas, aumenta o disminuye?
- M: Disminuyen los espacios por la presión que les hace el émbolo a ellas.
- P: Entonces, ¿si disminuyen los espacios, qué sucede con la propiedad aparente llamada sólida, líquida o gaseosa?
- D: Cambia.
- P: ¿Si la sustancia estaba en estado gaseoso, a qué estado pasaría?
- M: Líquido.
- P: ¿Si estaba en líquido a qué estado pasaría?
- D: Sólido.
- P: O sea, ¿qué efecto está causando la presión?
- M: El cambio de estado.
- P: ¿Qué es lo que hace que una sustancia cambie de un estado a otro?
- M: Las distancias entre las partículas.
- P: Pero para que estas distancias cambien, ¿qué es lo que tiene que variar?
- D: La temperatura y la energía.
- P: ¿Qué otro factor, además de la energía, hace que disminuyan los espacios?
- M: La fuerza que se ejerce sobre las partículas o la presión hacen que estas se acerquen.

Santiago ve la necesidad de traer a la escena un ejemplo que le de soporte empírico a lo anteriormente discutido, así que le entrega a cada grupo un encendedor transparente que contiene butano. Adicionalmente, formula la siguiente serie de preguntas a los estudiantes con la intención de que continúen con la conceptualización de la presión como uno de los factores que influyen en el arreglo de las partículas y, por ende, en la apariencia de la sustancia.

- P: ¿Qué apariencia tiene el butano?
- M: La sustancia se ve transparente y en estado líquido.
- P: ¿Cómo será el arreglo de las partículas para que la sustancia se aprecie de esa forma?
- D: Las partículas están un poco separadas, pero no tanto como en el estado gaseoso; además, su movimiento es mayor, ya que poseen mayor energía que cuando están en el estado sólido.
- P: Saben, el butano, cuando está por fuera del encendedor, tiene una apariencia gaseosa, así pues, ¿qué factores son los que hacen que la apariencia de esta sustancia sea líquida cuando está dentro del encendedor?

- A: La sustancia debe de tener menos temperatura o energía.
- P: ¿Cuál otro factor diferente de la temperatura condiciona el estado físico de la sustancia?
- M: Puede ser la fuerza que se le ejerce a las partículas.
- P: Explique el proceso.
- M: Sucede el mismo proceso que ocurrió cuando usted representó con las niñas las partículas y les ejercía una fuerza en sus hombros; entonces, este hecho hacía que ellas se acercaran las unas a las otras; de manera semejante, cuando se ejerce una fuerza sobre las partículas de una sustancia que está en estado gaseoso, estas se acercan las unas a las otras, haciendo que cambien su estado físico.
- P: Entonces, ¿qué otro factor diferente a la temperatura influye en el estado físico de una sustancia?
- M: La presión que se ejerza sobre la sustancia.
- P: De acuerdo a lo que ustedes acaban de decir, el estado físico o apariencia de una sustancia depende de las condiciones de temperatura y presión a la que se encuentre la sustancia; por ejemplo, para almacenar el butano dentro del encendedor, se le aplican altas presiones; por ello, lo percibimos en estado líquido, pero si lo sacamos del recipiente, entonces la presión disminuye y de inmediato la apariencia cambia. ¿En qué otro ejemplo de su vida cotidiana usted puede observar este fenómeno?
- M: Con la pipa de gas propano; cuando mi mamá me pide el favor de que lleve la pipa de la puerta de mi casa a la cocina, percibo como si dentro hubiera una sustancia en estado líquido, además, en la manguera transparente que conecta la pipa con la estufa observo una sustancia líquida, pero cuando abro la llave de la pipa percibo que sale una sustancia gaseosa, supongo que el abrir la llave disminuye la presión sobre la partículas de la sustancia, lo cual hace que esta cambie de estado.

PaP-eR n.º 3

Explicando la apariencia de las sustancias a partir del movimiento, interacción y arreglo de las partículas

Introducción

En este PaP-eR se abordan un conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje planeadas, enseñadas y examinadas por Santiago, que se apoyan principalmente en el trabajo de laboratorio y la demostración, y cuyo propósito fundamental es brindar la oportunidad a los estudiantes de que comiencen a avanzar desde la concepción según la cual las partículas poseen un movimiento aparente, hacia una conceptualización que le asigna al

modelo de las partículas la propiedad del movimiento intrínseco. Adicionalmente, los aprendices podrán continuar desarrollando los esquemas de interacción de sistemas, conservación y equilibrio.

El pensamiento de Santiago durante la planeación

Respecto a la enseñanza de la idea que declara que todas las partículas que conforman una sustancia tienen un movimiento intrínseco, afirmo que esta les permitiría a los estudiantes ir construyendo una conceptualización que apunta a que los cambios de apariencia de las sustancias dependen del arreglo que adopten las partículas, gracias a la ganancia o pérdida de energía de estas últimas. Es decir, se traza el propósito de que los estudiantes logren una diferenciación e integración entre el mundo macroscópico y el submicroscópico, hecho que les posibilitaría usar los niveles de representación submicroscópico y simbólico para darle sentido a todos los fenómenos físicos y químicos generados por la interacción del sistema sensorial con su entorno; dicho de otra manera, podrán relacionar las propiedades aparentes de la materia con su nivel de organización submicroscópico. Desde luego, para ello se necesita seguir desarrollando los esquemas cualitativos de la química, dado que estos fundamentan la construcción de los modelos científicos.

Hay que destacar que el desarrollo de esta idea le permitiría al estudiante reforzar los anteriores conceptos construidos durante la conceptualización de los cambios de estado físicos; además, le posibilitaría construir conceptos y esquemas que serían muy útiles cuando se aborde más adelante la gran idea del cambio físico y químico.

Como bien se ha señalado, el estudiante desde su nacimiento ha estado en una continua interacción con el medio natural y físico, apoyándose en su sistema sensorial, el cual le permite construir representaciones para interpretar la realidad y de esta manera poder adaptarse y controlar el medio donde vive (los sujetos son físicos, químicos, psicólogos, intuitivos, etc.). Lo anterior ha hecho que él perciba la materia inerte y en reposo, a no ser que un agente externo actúe sobre ella, causándole un movimiento aparente. Así pues, la comprensión del movimiento intrínseco de las partículas es una de las grandes ideas que mayor dificultad entraña para ser internalizada por el aprendiz, dado que compite con desventaja con respecto a las concepciones alternativas, que le han servido al estudiante para poder subsistir con éxito en su medio natural y físico.

Por lo tanto, el estudio de la literatura, la planeación, la enseñanza y la reflexión acerca del movimiento intrínseco de las partículas, me han dejado ver que las concepciones alternativas que los estudiantes traen al aula en relación

a esta idea, no parecen modificarse fácilmente a través de la instrucción; incluso, en muchas ocasiones no se consigue que los estudiantes creen en forma racional en el modelo científico, sino que lo hacen más por un acto de fe (por ejemplo, porque lo dice el profesor o el texto escolar). Adicionalmente, he podido evidenciar que la idea del movimiento intrínseco de las partículas es totalmente contraintuitiva cuando se estudia el estado sólido, y se acepta con mayor facilidad en el momento de abordar la fase gaseosa, quedando a medio camino en la fase líquida, en donde se concibe el movimiento, pero causado por un agente externo (movimiento aparente). Posiblemente, una de las causas de este hecho sea que los estudiantes no logran establecer una diferencia entre el movimiento intrínseco de las partículas que conforman una sustancia y el movimiento aparente de dicha sustancia, el cual es causado por un agente externo. Probablemente, estas concepciones alternativas están correlacionadas con la visión que tienen los estudiantes de los tres modelos diferenciados con que se representan los estados físicos de la materia.

Ahora, como lo destacué en el desarrollo de la gran idea de los cambios de fase, las dificultades para poder comprender las propiedades y transformaciones de la materia se focalizan en la falta de diferenciación e integración de los tres niveles de representación (macroscópico, submicroscópico y simbólico), así como en el desarrollo de los esquemas conceptuales de la química (interacción, conservación, equilibrio, proporcionalidad, correlación y probabilidad).

Acciones inteligentes de Santiago durante la clase

Para abordar la gran idea del movimiento intrínseco de las partículas, el profesor implementa una actividad de laboratorio llamada «Explicando los estados de la materia» (ver Anexo 6), seleccionada durante la construcción de la CoRe (planeación del núcleo conceptual), tomada del libro *Pensar con la ciencia* (Uribe, 2005). Ahora, él considera que esta práctica de laboratorio tiene una doble función, a saber: sirve para introducir un nuevo tema (la idea del movimiento intrínseco de las partículas) y para reforzar el conocimiento previamente enseñado (estados físicos de la materia). El siguiente fragmento de la narrativa de Santiago expone la idea anterior:

El marco teórico acerca de los estados de agregación que se construya a través de la unidad didáctica («Fabricando materiales») puede ser contrastado por medio de la práctica de laboratorio («Explicando los estados de la materia»), es decir, para conceptualizar la idea de los cambios de estado físico se comienza por una construcción teórica, para posteriormente contrastarla a través de una actividad de laboratorio sencilla; no obstante, existirán ocasiones en donde se realizará el proceso inverso.

Antes que los estudiantes comiencen a desarrollar la guía de la práctica de laboratorio, el profesor monitorea el nivel de comprensión, confusión y compromiso de sus estudiantes con respecto a su contenido. De hecho, él considera que los aprendices deben de llevar a cabo esta acción inteligente antes de realizar cualquier procedimiento experimental, dado que esto les permitiría comprender lo que se les está pidiendo, para así poder articular la información nueva que se le presenta con la información existente en la memoria permanente. El siguiente diálogo ilustra lo anterior:

- P: Luis Fernando, explícanos de qué trata el trabajo de laboratorio.
- L: Hay que tener los tubos limpios y echar la sustancia y luego poner a calentar.
- P: Luisa qué opinas de la descripción que acaba de hacer tu compañero.
- L: Él está perdido, deja ver que no leyó la guía.
- P: ¿Por qué piensas que está perdido?
- L: De pronto tiene la idea de lo que hay que hacer, pero no sabe cómo explicarle bien a usted.
- P: O sea, esto quiere decir que no lo leyó, ¿cómo lo explicarías vos?
- L: Debemos primero tener en cuenta las precauciones, tener los tubos de ensayo limpios, después debemos de coger una muestra de ácido esteárico y la agregamos al tubo, luego, se observan las características antes, durante y después de haber calentado la sustancia. El mismo procedimiento se tiene que hacer con el azufre, estaño, yodo y la parafina.
- P: ¿Qué opinas Fernanda de lo que acaba de decir Luisa?
- F: Que sí leyó la guía de laboratorio, es decir, supo explicar el proceso que vamos a desarrollar hoy en la clase.

Es de resaltar que un aspecto que el profesor resalta durante el monitoreo del nivel de comprensión del contenido de la guía «Explicando los estados de la materia» (ver Anexo 6) hace referencia a la estructura de organización curricular de la misma, pues en ella se abordan primero las tareas experimentales que están adscriptas al mundo macroscópico, dejando para lo último las tareas pertenecientes al mundo submicroscópico. La anterior situación le hace suponer al profesor que el autor de esta guía de laboratorio (Uribe, 2005), se ha formulado dos propósitos para con ella: en primer lugar, que los estudiantes comiencen con tareas pertenecientes al contexto sensorial en el cual se requiere menor inversión cognitiva, para luego desplazarse a las tareas de mayor lógica de razonamiento, y, en segundo lugar, que los aprendices logren una diferenciación e integración entre los tres niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y

simbólico), para que de esta manera puedan darle un sentido a los fenómenos físicos y químicos de su contexto.

Después de haber monitoreado el nivel de comprensión y confusión de la guía de trabajo, Santiago pasa a explicar el manejo instrumental de cada uno de los equipos que se van a utilizar durante la práctica de laboratorio, además de las normas de seguridad que se deben considerar dentro del laboratorio; para ello, utiliza una estructura no interactiva con toda la clase (Tobin, abril, 1985). Adicionalmente, destaca que a lo largo de toda actividad experimental se va a utilizar un modelo de trabajo denominado POE (predecir, observar y explicar), que ha considerado como una herramienta poderosamente útil para conseguir una mejor comprensión del tópico abordado. Vale la pena decir que él nuevamente les recomienda a los estudiantes que durante el proceso de observación intente relacionar el nivel de representación macroscópico (propiedades aparentes) con el submicroscópico, recordando que el primero permite describir el fenómeno en cuestión, mientras que el segundo ofrece una explicación de lo observado.

Ahora bien, a lo largo del progreso de la actividad, el profesor rota por todos los grupos de discusión con la intención de monitorear el nivel de desarrollo de las actividades 1 y 2 de la guía «Explicando los cambios de estado» (ver Anexo 6), y retroalimentar el proceso en caso de ser necesario. De hecho, las primeras tareas estuvieron focalizadas en el nivel de representación macroscópico, no obstante, con la serie de preguntas que le dirigió a los estudiantes durante la fase de interacción, los indujo a construir una posible solución en relación al nivel molecular, específicamente a la situación problema que plantea de la siguiente forma: «habrán observado que al finalizar las experiencias con el ácido esteárico, el yodo y el azufre, las sustancias se habían depositado en las paredes del tubo, ¿cómo puede explicar esto?» (Anexo 6, tarea problema n.º 2 de la Actividad n.º 3). En efecto, las respuestas originadas por la interacción profesor-estudiantes y estudiantes-estudiantes, le permite a los aprendices comenzar a construir ideas más elaboradas, por ejemplo: el movimiento intrínseco de las partículas y el arreglo de las partículas determinan la apariencia de las sustancias, y las sustancias están formadas por pequeñas partículas. Adicionalmente, esta acción inteligente de los sujetos les posibilita continuar desarrollando los esquemas conceptuales (interacción de sistemas, conservación y equilibrio), así como la diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la química. Los siguientes fragmentos de diálogos profesor-alumno, permiten evidenciar la situación descripta arriba:

- P: Bueno, viene otra pregunta (señala el tubo de ensayo), ¿en qué parte del tubo pusieron inicialmente el ácido esteárico?
- I: (Señala el tubo) En la parte de abajo.
- P: (Señalando las paredes superiores del tubo, pregunta) ¿Qué es lo que se observa adherido a las paredes superiores del tubo?
- W: Eso también es ácido esteárico.
- P: Ese ácido esteárico también está formado por partículas.
- W: Claro.
- P: ¿Cómo hizo ese ácido esteárico para llegar a esas partes, siendo que se depositó en el fondo del recipiente y ahora aparece en las paredes superiores?
- I: Por la ebullición, que va haciendo burbujas y va salpicando.
- P: ¿Pero esas burbujas son de ácido esteárico o de aire?
- I: Las burbujas son de ácido esteárico, que al hervir están pasando de un estado líquido a gaseoso.
- W: Entonces, las burbujas van subiendo y salpican las paredes del tubo.
- P: ¿Percibieron algún olor?
- G: No, pero observamos que la sustancia se está volviendo otra vez sólida.
- P: ¿Qué está sucediendo a nivel submicroscópico?
- G: Las partículas se juntan.
- P: Se juntan o se acercan.
- W: Las partículas comienzan a perder energía.
- P: ¿A quién le están entregando esa energía las partículas?
- G: Al ambiente, es decir, están interaccionando con las partículas del aire, y al hacer eso las partículas pasan de un estado líquido a un estado sólido, porque comienzan a perder energía.
- P: (Señalando nuevamente el tubo de ensayo, pregunta a los niños), ¿sí, lo que hay allí es ácido esteárico?
- V: Sí
- P: ¿Por qué?
- V: Porque no le añadimos otra sustancia, entonces, lo que está allí es ácido esteárico, pero está en otro estado.
- P: ¿Cuál es la apariencia?
- G: Está pasando de un estado líquido a sólido.
- P: Hábleme del esquema de la conservación.
- [...]
- P: (Aproxima el tubo de ensayo a la mano del estudiante y le pregunta) ¿Qué percibe?
- V: Calor
- P: ¿Desde dónde se dirige el calor?

- E: Del tubo a mi mano.
- P: ¿Cómo es la temperatura del sistema tubo y ácido con respecto a la del aire?
- V: Es mayor la del sistema tubo-ácido.
- P: A medida que pasa el tiempo ¿qué sucede con la temperatura de los sistemas?
- E: La temperatura del tubo-ácido disminuye.
- P: ¿Cuál aumenta?
- V: Aumenta la del aire.
- E: Un sistema le pasa temperatura al otro.
- P: ¿Es temperatura o calor?, acuérdense que una cosa es temperatura y otra es calor. ¿Qué es lo que está fluyendo ahí?
- A: Calor.
- P: Entonces, el calor que pierde uno lo gana el otro. ¿Hasta cuándo?
- V: Hasta que se alcanza un equilibrio.
- P: Pero qué tipo de equilibrio.
- A: Térmico.
- P: Entonces, ¿qué esquemas conceptuales estamos trabajando aquí?
- V: Equilibrio, interacción y conservación.
- P: ¿Qué paso con la apariencia del ácido?
- E: Cambió de color, estaba sólido y pasó a líquido.
- P: Esa es una descripción a nivel macroscópico, ahora deben de darle una interpretación submicroscópica. ¿Qué explicación daríamos a nivel submicroscópico frente a la pregunta de por qué la apariencia del ácido cambia al ser calentado?
- V: **La llama del mechero le trasmite calor al ácido, lo cual hace que las partículas se aceleren, aumentando el movimiento de ellas hasta que se derritan.**
- P: ¿Cómo?, ¿quién se derrite, las partículas?
- V: ¡No, el ácido! Las partículas nunca se derriten, siempre van a estar igual.
- P: Entonces ¿a qué se debe que cambie la apariencia de la sustancia?
- A: A la temperatura, a la interacción.
- P: Pero ¿qué pasa con el arreglo de las partículas en el estado sólido con respecto al estado líquido?
- E: Las partículas al ganar energía se mueven más rápido, esto hace que se separen más y, por lo tanto, sufran un arreglo diferente, ocasionando que cambie la apariencia macroscópica.

El profesor se mueve con el tubo de ensayo que contiene yodo alrededor de los estudiantes y les pregunta:

- P: ¿A qué les huele?
- B: Huele a Isodine.
- F: Isodine profe.
- P: Entonces, ustedes están percibiendo el olor; ¿cómo hicieron para percibir ese olor?, ¿qué pasó a nivel submicroscópico para que percibieran el olor?
- Y: Interaccionaron las partículas de yodo con las del aire, entonces nosotros absorbimos el olor que eso tiene.
- V: No es así, lo que sucede es que absorbimos algunas partículas de yodo con las de aire.
- F: Las partículas del yodo se han esparcido e interaccionaron con el aire, permitiendo que lleguen a nuestra nariz y de esta manera las pudimos olfatear.
- M: ¿Cómo pudo pasar esa sustancia tan rápidamente del estado líquido al estado gaseoso?
- P: (Señalando los alrededores del tubo de ensayo, pregunta) ¿Qué hay alrededor del tubo de ensayo con yodo?
- Clase: Partículas de aire.
- P: ¿Qué sistemas son los que hay aquí?
- Grupo: Aire, tubo y yodo.
- P: Entonces ¿qué sucede?
- Clase: Hay una interacción entre ellos.
- P: Entonces, ¿qué fenómeno se da?
- M: Una transferencia de calor y se alcanza un equilibrio.
- P: ¿Cuál es el sistema que transfiere energía?
- Clase: El aire le transfiere energía al yodo.
- P: ¿Hasta cuándo?
- Clase: Hasta que se alcance el equilibrio térmico.
- P: Entonces ¿las partículas de yodo qué adquieren?
- Grupo: Energía, la cual hace que aumenten su movimiento.
- P: Ahora, si se aumenta el movimiento, ¿qué sucede?
- Clase: Las partículas se separan.
- P: Si las partículas se separan, ¿qué pasa con la apariencia de la sustancia?
- Clase: Cambiaría a estado gaseoso.
- P: (Señalando la parte inferior del tubo, le pregunta a la clase) ¿En dónde estaban las partículas inicialmente?
- Clase: En la parte de abajo del tubo.

- P: Entonces, ¿ahora qué pasó con las partículas?
- Clase: Se movieron por todo el espacio, es decir, no las vemos pero las percibimos con el olfato.
- P: (El profesor se señala la nariz y pregunta) ¿Para que lleguen aquí qué sucede?
- W: Hubo un intercambio de energía.
- P: ¿Qué le ha pasado al arreglo de las partículas?
- Q: Se separaron debido al aumento de la energía y comenzaron a moverse más rápido; por eso, la sustancia pasó a gaseoso y se puede percibir.

Luego de las interacciones del profesor con los pequeños grupos de discusión, utiliza una estructura de clase no interactiva (Tobin, abril, 1985), diciéndole a sus alumnos que el calentamiento de estas sustancias (yodo, ácido esteárico, parafina, azufre) es un hecho empírico que lleva a confirmar que las partículas tienen movimiento propio, no que el aire las haya transportado a la parte superior del tubo (situación del ácido esteárico y la parafina) o a la nariz (como sucedió con el yodo y el azufre, produciendo el olor), sino que el calentamiento de los sistemas (tubo-ácido esteárico; tubo-yodo; tubo-parafina; tubo-azufre) hacen que las partículas de estos interaccionen, generando el proceso de transferencia de calor del sistema de mayor temperatura al de menor, hasta que se alcance un equilibrio térmico; de ahí que las partículas, que estaban cercanas, comenzaran a alejarse, debido a que han adquirido mayor energía y movimiento, haciendo que la sustancia cambie al estado gaseoso, en donde las partículas se mueven de forma aleatoria.

Asimismo, el profesor les explica a los estudiantes que, después del calentamiento de los anteriores sistemas, sus partículas comienzan a interactuar con las del sistema aire, produciéndose nuevamente la transferencia de energía, pero esta vez en dirección contraria (de las sustancias al aire); hecho que le permite a las partículas ceder energía, aumentar la fuerza de atracción y disminuir el espacio vacío entre ellas, lo cual hace que cambie la apariencia de las sustancias nuevamente.

Es de resaltar que durante la interacción del profesor con los pequeños grupos de discusión muchas preguntas estuvieron focalizadas en monitorear el nivel de conciencia que tenía los estudiantes en cuanto a los niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico). En el siguiente fragmento del relato narrativo de Santiago se encuentran las razones por las que el profesor acude a esta estrategia de enseñanza en la que se emplea la técnica de estímulo del recuerdo:

Considero de mucha importancia el hecho de que los aprendices estén conscientes del nivel de representación en el que están trabajando, para de esta manera evitar que la memoria de trabajo de ellos se sobrecargue pasando de un nivel de representación a otro sin ser consciente de este desplazamiento. Adicionalmente, durante la interacción que tengo con los estudiantes, les formulo interrogantes que me permiten monitorear en ellos el nivel de conocimiento acerca de los niveles de representación, así pues, esta estrategia le permitirá a los estudiantes comenzar a articular los tres niveles de representación de la química, permitiéndoles conceptualizar que el nivel macroscópico sirve para describir los fenómenos naturales y físicos, el nivel submicroscópico les servirá para encontrar una explicación al fenómeno percibido, en tanto que el simbólico representará los anteriores.

Finalmente, hay que destacar que, durante el proceso de calentamiento del ácido esteárico, el profesor esperaba que la muestra de la sustancia pudiera tornarse de dos apariencias diferentes después de liberar la energía que inicialmente había adquirido, dependiendo del tiempo de exposición al calor. Así, en un primer estado, cuando la sustancia se expone al calor por un período de tiempo corto, se podría ver que recobraba sus atributos iniciales (estado sólido y color blanco); en cuanto que en un segundo estado, en donde la exposición al calor es mayor, la sustancia cambiaría de color (el color inicial cambia a amarillo). El profesor pudo aprovechar este fenómeno para fortalecer las ideas de los estudiantes gracias a su profundo conocimiento de la química orgánica, pues al saber que este ácido está conformado por moléculas de un peso molecular grande (largas cadenas de carbono; $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$), y que, además, estas son sensibles a los cambios altos de la temperatura, lo que las hace descomponerse en moléculas más pequeñas de un naturaleza química diferente, sabía que el color de la muestra cambiaría cuando se la sometiera a altas temperaturas. Por lo tanto, el profesor no se sorprendió ante el hecho de que no todas las muestras de ácido esteárico de los pequeños grupos de discusión recuperaron los atributos iniciales, sino que vio esta situación como una oportunidad para que los estudiantes comiencen a conceptualizar las ideas de cambio físico (conservación de la sustancia) y cambio químico (no se conserva la sustancia). Los siguientes fragmentos ilustran la anterior situación.

Al acercarse a uno de los grupos, el profesor es abordado por una de las estudiantes:

- G: Hemos calentado dos tubos con ácido, pero cuando los dejamos enfriar uno quedo nuevamente de color blanco y el otro amarillo, ¿a qué se debe esto?
- P: ¿A cuál de los dos se le suministró mayor cantidad de calor?

— W: Le aplicamos menor calor al que volvió a quedar blanco, mientras al otro se le suministró calor por un mayor tiempo.

El grupo de Melisa, Inés, Yudy y Rosalinda llaman al profesor para mostrarle dos tubos de ensayo con ácido esteárico:

— M: Nosotros encontramos algo extraño, algo sorprendente.

— P: Muéstrenme.

— I: Nosotras hicimos dos pruebas, mire los dos tubos de ensayo con ácido esteárico, el primero de ellos lo dejamos menos tiempo al calor y el segundo lo dejamos más tiempo, lo cual hizo que hirviera.

— P: Miren han llegado a una parte muy buena, están casi que actuando como científicos o científicas, ¿por qué, qué hicieron?, ¡vuélvame a decir eso!

— M: Profe, nosotras comenzamos a observar que a los otros grupos les estaba quedando amarillo el ácido después de calentarlo y a nosotras no. Así que el primer tubo lo calentamos poco tiempo para que pasara de sólido a líquido, lo cual hizo que este quedara blanco después de que se enfrió, como era antes de calentar; en cambio, al otro lo mantuvimos más tiempo en el fuego hasta que hirvió, por eso quedó amarillo.

— P: Entonces, entremos a comparar, ¿inicialmente cuál eran las características del ácido en los dos tubo antes de calentar?

— R: Sólido, trocitos de ácido y de color blanco, en los dos tubos de ácido.

— P: (Señalando el tubo de la muestra final de color blanco, pregunta) Finalmente, ¿cómo quedó este?

— R: Me parece que quedó con las mismas características iniciales.

— P: (Señalando el otro tubo, pregunta) ¿Este cómo era?

— I: Tenía las mismas características iniciales que el otro, pero después de calentarlo quedó amarillo.

En este momento, el profesor ve la oportunidad de direccionar el diálogo hacia el análisis en torno a un tema particular, la conservación de la sustancia:

— P: ¿Se acuerdan de la conservación de la sustancia, tema que habíamos visto en otras clases?

— M: Aquí hubo cambio de la conservación.

— P: ¿En dónde hubo cambio de conservación?

— M: En la segunda muestra (el tubo con la muestra amarilla).

— P: ¿Por qué hubo cambio de conservación en la segunda muestra?

- M: Las altas temperaturas hicieron que esto tomara un color diferente (señala el tubo con la muestra amarilla).
- P: O sea que esto ayuda a afirmar que hubo un cambio de sustancia.
- M: Aquí se dio interacción entre las partículas.
- P: Pero a nivel macroscópico ¿que característica las lleva a predecir que en un tubo no se conservó la sustancia y en el otro sí?
- Y: El color.
- P: ¿Qué pasó con el color?
- Y: Varió, o sea, no quedó igual, otra característica es el fuego, uno estuvo más alto y el otro más bajo.
- M: Creo que influye el fuego para que cambiara el color, ¿cierto? El tubo de la muestra final amarilla lo metíamos y lo sacábamos mucho del fuego, en cambio el otro lo hicimos bien.
- P: Esto nos va a permitir más adelante entrar a decir que en uno, de acuerdo a las condiciones que le apliquemos a la muestra se pueden conservar la sustancia o no conservar, entonces, vamos a empezar a hablar de cambio físico y químico, ¿pero bueno!
- R: También, hay que tener en cuenta el tiempo de exposición al calor, ya que un tubo estuvo más tiempo en contacto con el calor que el otro.
- P: Entonces, todo lo que me han dicho a qué nivel lo han trabajado.
- E: A nivel macroscópico.
- P: Entonces démosle una explicación a nivel submicroscópico.

El profesor le pide el favor al grupo de Melisa (este controló la variable temperatura durante el calentamiento) de que socialicen los resultados de su experiencia; ellas pasan al enfrente y comienzan a relatarle al colectivo áulico lo que hicieron; en un comienzo hacen unas descripciones del proceso de calentamiento del ácido esteárico, hecho que lleva al docente a pedirles que expliquen y que, para ello, utilicen el nivel de representación submicroscópico. En esta actividad de interacción con todo el grupo se genera una serie de preguntas y respuestas entre estudiantes-profesor y estudiante-estudiante. Los siguientes diálogos ilustran lo anterior:

- R: Los dos tubos que contenían las muestras con ácido esteárico no fueron sometidos durante el mismo tiempo al calor, es decir, un tubo estuvo expuesto más tiempo al calor que el otro; por ello, el tubo que estuvo menos tiempo al calor regresó al estado físico sólido con las mismas características que tenía antes de calentarlo, caso contrario sucedió con el que sometimos más tiempo: regresó al estado sólido, pero con unas características diferentes. Se puede decir que nosotros intervenimos en

los resultados que obtuvimos de ambas pruebas, porque a una muestra la mantuvimos a menor temperatura y a la otra a mayor.

— P: ¿Pero entonces qué paso con la conservación?

— M: (Señalando el tubo con ácido que conservó el color blanco, afirma) Sí, se conserva, está igual que al principio, solo que no está en trocitos, pero sigue siendo la misma masa y la misma cantidad (Señala el otro tubo y continúa); en cambio, en esta no se conserva, ya que ha cambiado el color.

— P: ¿Ahí me estás hablando de la conservación de la sustancia o de la conservación de las partículas?

— R: De la conservación de la sustancia.

— P: ¿En cuál de las dos muestras hubo conservación de la sustancia?

— R: En la primera (señala el tubo con ácido que mantuvo el color blanco después de regresar al estado sólido).

— P: ¿Por qué hubo conservación de la sustancia? ¿Qué las lleva a predecir que en la primera hubo conservación de la sustancia y en la segunda no hubo conservación de la sustancia, qué evento, qué apariencia?

— R: La evaporación, ya que en este tubo no se evaporó la sustancia (señala el primer tubo)

— P: ¿Entonces, de qué me estás hablando, de la conservación de la sustancia o de la conservación del número de partículas?

— M: De la conservación de las partículas.

Ahora, en cuanto a las otras actividades de laboratorio, en las que se emplearía la parafina, la soldadura de estaño, el azufre y el yodo (ver Anexo 6), el profesor manifestó que el propósito de estas actividades era el de monitorear si los estudiantes habían construido unos modelos alternativos en los cuales relacionaran la organización de las partículas con la apariencia de la sustancia, además de la gran idea del movimiento intrínseco de las partículas; por ello, implementando la técnica de estímulo del recuerdo, interroga a los estudiantes (estructura interactiva con toda la clase –Tobin, abril, 1985–) durante el desarrollo de las tareas, con casi las mismas preguntas y organización (pequeños grupos de discusión) que utilizó a lo largo de la práctica de laboratorio del calentamiento del ácido esteárico y, efectivamente, estas tiene la intención de evaluar el nivel de comprensión y confusión, así como fortalecer los modelos que los estudiantes construyeron a lo largo del trabajo de laboratorio.

PaP-eR n.º 4

Explicando los espacios vacíos entre las partículas a través del fenómeno de la disolución de sustancias

Introducción

Este PaP-eR ilustra el papel clave que juega el trabajo de laboratorio y la demostración como una representación de la idea del vacío entre las partículas, para ayudar, en primer lugar, al profesor a enseñar este concepto y, en segundo lugar, a los estudiantes a superar sus dificultades/limitaciones y concepciones alternativas con las que llegan al aula. Adicionalmente, el PaP-eR recoge la forma en que, a través de un diálogo socrático, el profesor monitorea el nivel de comprensión y confusión de los estudiantes, de hecho, el propósito es el de detectar incidentes críticos, para poder hacer una retroalimentación *in situ* (evaluación formativa); sin embargo, también se utilizan cuestionarios de lápiz-papel antes y después de la instrucción, con la intención de averiguar las concepciones alternativas, además del nivel de desarrollo de los conceptos y esquemas de la química.

El pensamiento de Santiago durante la planeación

La idea que hace referencia a que «entre las moléculas que conforman una sustancia existe un espacio vacío», considero que es uno de los conceptos que, junto al del movimiento intrínseco de las partículas, fundamenta la teoría cinética-molecular; por ello, resulta preponderante que los estudiantes los conceptualicen durante la educación en ciencias, gracias a que estos hacen parte de los fundamentos que permiten darle sentido a muchos de los fenómenos naturales y físicos.

Ahora bien, el hecho de haber planeado, enseñado y reflexionado sobre los resultados de la planeación y enseñanza de dicha idea en múltiples ocasiones, me ha permitido evidenciar que es, quizás, una de las ideas del currículo de la química que mayor dificultad/limitaciones presenta tanto para enseñar como para aprender. En cuanto a la dificultad de la enseñanza de este tópico, presupongo que puede estar presentándose gracias a una deficiencia del profesor en relación al conocimiento del tema de la materia y el conocimiento de las concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes a aprender el tópico en cuestión, además de la ausencia de una concepción del aprendiz y el aprendizaje desde una perspectiva constructivista.

Por lo que se refiere a la dificultad que tiene el estudiante para aprender este tópico, la literatura ha revelado que una de las posibles causas radica en que su pensamiento está condicionado por su sistema sensorial, lo cual ha he-

cho que a él le cueste trabajo aceptar el vacío entre partículas, ya que muchos de los objetos de su entorno tienen una apariencia compacta; esta situación lo induce a construir una representación continua de la materia, que compite con ventaja sobre la concepción discontinua. Igualmente, los estudiantes no realizan una diferenciación entre el nivel de representación macroscópico y el nivel de representación submicroscópico, hecho que los lleva a asignarle propiedades a las partículas que pertenecen al mundo macroscópico.

De ahí que el estudio de la literatura, la planeación, la enseñanza y la reflexión reiterada sobre el acto educativo de este concepto, me han permitido ver que la aceptación de la idea de vacío por parte del estudiante viene condicionada por el estado físico de la sustancia que se ha de percibir, generando en los estudiantes representaciones opuestas, en consecuencia, si la apariencia de la sustancia es sólida, los estudiantes rechazan completamente esta idea, afirmando que entre las partículas no hay nada, o hay más partículas de la misma sustancia, dado que perciben este estado más compacto; por lo que se refiere a la fase gaseosa, el concepto de vacío puede llegar a ser más fácilmente aprehendido, ya que la apariencia de esta fase es más fluida, por lo que ellos, en su gran mayoría, declaran que entre las partículas en ese estado hay aire. Ahora, en cuanto al estado líquido no se ha encontrado una pauta clara de la representación de este tópico por parte de los aprendices.

Las anteriores dificultades/limitaciones y concepciones alternativas de los estudiantes me han llevado a asumir una organización de la clase en pequeños grupos de discusión (Tobin, abril, 1985), así como a implementar tipos de tareas de comprensión y opinión que me posibilitan rotar por los grupos e interaccionar con los estudiantes a través de series de preguntas-respuestas, con el propósito de monitorear el nivel de comprensión y confusión; ahora bien, en los casos en donde detecte incidentes críticos (como concepciones alternativas), de inmediato los trato por medio del diseño de estrategias adecuadas (diálogo socrático) que inducen a los estudiantes a la construcción de una idea más elaborada. Desde luego, han existido ocasiones en las cuales no he podido diseñar la pregunta o estrategia más pertinente que lleve al estudiante acceder a la idea en cuestión.

Por lo tanto, considero que el proceso de monitorear el nivel de comprensión, confusión y compromiso del estudiante frente al aprendizaje del tópico en cuestión, debe estar fundamentado por un marco teórico de evaluación formativa que no esté focalizada en conseguir que los estudiantes memoricen hechos, datos y definiciones del tópico tratado para que luego los reciten; por el contrario, esta concepción de evaluación me permite generar oportunidades de aprendizaje en donde los estudiantes se ven abocados a movilizar sus propias ideas para afrontar las situaciones problemáticas, así

estas no coincidan con los modelos científicos del tópico tratado. Ahora, en caso de detectar que las representaciones del estudiante están alejadas de las teorías científicas, de inmediato reflexiono en la acción y formulo las preguntas pertinentes al aprendiz, para de esta manera inducirlo a construir un modelo alternativo del tema tratado. De hecho, esta clase de evaluación no se centra únicamente en el desarrollo de tareas, pruebas, exámenes de papel y lápiz, sino en averiguar si el aprendiz comprende, no comprende, por qué no comprende y qué hacer para que el estudiante que no entienda pueda superar sus dificultades.

Adicional al proceso de monitoreo del nivel de comprensión y confusión de los estudiantes acerca del tópico en consideración, acostumbro aplicar una prueba escrita de selección múltiple (ver Anexo 10) antes de haber comenzado a tratar el conjunto de ideas en las que he secuenciado y temporalizado la enseñanza del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, con el propósito de diagnosticar las posibles concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes; asimismo, empleo una prueba escrita al final de la secuencia de enseñanza-aprendizaje (ver Anexo 11) en la que se pide a los estudiantes realizar representaciones gráficas de los procesos físico-químicos, con la intención de monitorear la evolución de las ideas iniciales.

Acciones inteligentes del profesor durante la clase

Después de haber abordado la idea del movimiento intrínseco de las partículas, junto con la diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la química, el profesor se propone tratar con sus estudiantes el tópico que hace referencia a los espacios vacíos que existen entre las partículas, el cual considera tan difícil de construir por parte de los aprendices como el anterior, en virtud de que esta idea también resulta contraintuitiva para todos los sujetos. De hecho, para tratar con este tópico ha seleccionado una actividad de laboratorio y unas demostraciones provenientes del libro *Pensar con la ciencia* (Uribe, 2005), recogidas bajo el título «Explicando la disolución» (ver Anexo 7).

Así pues, el profesor comenta a los estudiantes que las actividades de enseñanza que él diseña o selecciona de los textos escolares, en lo posible, deben de comenzar con actividades de observación, gracias a que estas le permiten a ellos participar activamente en el trabajo académico (la actividad pertenece al nivel de representación macroscópico, el cual puede estar en la zona de desarrollo proximal del niño) y mejorar su autoimagen frente al proceso de aprendizaje. Posteriormente, de manera gradual se deben ir introduciendo actividades de explicación que requieren de una mayor inversión cognitiva, dado que pertenecen al nivel de representación submicroscópico (ver Anexo 6).

Para ampliar la explicación en torno a este planteamiento, se enlistan ejemplos de tareas del nivel macroscópico a las que se puede enfrentar a el o los estudiantes: observe la primera sustancia (por ejemplo, ácido esteárico); pónganse de acuerdo en cómo van a describir lo que observan en cada caso; ¿qué sustancias son solubles en agua?; ¿qué sustancias son insolubles en agua? Ahora, en cuanto a las tareas que pertenecen a nivel submicroscópico, se tienen: según esta teoría, ¿qué le ocurriría a las partículas de sal cuando esta se disuelven en agua?; ¿cómo podría explicar lo que sucede en las otras observaciones realizadas?; ¿cómo podría explicar lo que sucedió con el volumen del agua en la actividad 3?, etc.

Adicionalmente, el profesor les comunica a sus estudiantes que esta estructura lógica de las actividades de enseñanza tiene como propósito que ellos logren una diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico), lo cual les permitiría articular la información nueva que se les presente con el conocimiento que tienen en su memoria permanente. El profesor Santiago también les recuerda que desde los grados 6.º, 7.º, 8.º y 9.º se ha venido trabajando la idea de que la materia está compuesta de partículas, y que entre ellas existe un espacio vacío, no obstante, la enseñanza-aprendizaje de dicha idea solo se ha quedado en un nivel teórico, así que él desea que a partir de esta actividad experimental ellos puedan contrastar este marco teórico; para ello, se utilizará la guía llamada «Explicando las disoluciones» (ver Anexo 7). El siguiente fragmento de la narrativa del profesor da cuenta de lo señalado arriba:

Pretendo, con esta actividad de laboratorio («Explicando la disolución»), que los estudiantes comiencen a construir el modelo del espacio vacío entre las partículas, pero partiendo de situaciones concretas que les permitan contrastar esta idea que han estado abordando desde el grado sexto, pero de manera teórica (abstracta). Adicionalmente, considero que este concepto es demasiado difícil de construir por los estudiantes, ya que su pensamiento está condicionado por su sistema sensorial, haciendo que la idea del espacio vacío sea contraintuitiva.

El profesor les expresa a sus estudiantes que, además de conceptualizar la idea del espacio vacío entre las partículas, pretende que ellos continúen desarrollando los esquemas conceptuales de la química a lo largo de estas actividades, dado que estos fundamentan la construcción de todos los tópicos que conforman el currículo de esta disciplina.

Hay que hacer notar que el profesor para planear y enseñar esta gran idea transforma el currículo prescripto por el Ministerio de Educación y los textos escolares en un currículo planeado y procesado (no lineal), a partir de

su sistema de conocimientos y de creencias acerca de la enseñanza-aprendizaje de la química, ajustándolo al desarrollo cognitivo y a los antecedentes del estudiante. De ahí que selecciona y diseña actividades de enseñanza que permiten abordar los principales tópicos que fundamentan el aprendizaje del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia, además del desarrollo progresivo de los esquemas conceptuales de la química.

Por lo que se refiere a la Actividad n.º 1 de la guía de laboratorio «Explicando las disoluciones» (ver Anexo 7), el profesor les dice a los estudiantes que esta se abordará a partir de una demostración (porque la acetona es una sustancia costosa y cuenta con muy poca) y que la clase tendrá una organización en estructura interactiva, la cual permitirá que intercambien preguntas y respuestas entre los miembros del colectivo áulico. En cuanto a las otras actividades, él afirma que se utilizará una organización de la clase de pequeños grupos de discusión, en donde rotará por todos ellos, con la intención de monitorear el nivel de comprensión y confusión de los estudiantes y, en caso de detectar incidentes críticos, realizará la respectiva retroalimentación.

Ahora bien, después de estas declaraciones, el profesor vierte acetona en un vaso de precipitado y comienza a moverse por todo el laboratorio, formulando preguntas a sus estudiantes, las cuales tiene la intención de, en primer lugar, hacer que ellos comiencen a movilizar sus concepciones alternativas acerca de la idea del vacío entre las partículas; en segundo lugar, inducirlos a que utilicen los otros tópicos que han sido abordados en otras lecciones sobre la discontinuidad de la materia (partículas, movimiento intrínseco, arreglo de las partículas), y, por último, generar las oportunidades para seguir desarrollando los esquemas conceptuales. El siguiente fragmento de un diálogo producido durante la interacción entre los miembros del colectivo áulico ilustra la anterior situación:

- P: ¿Cuál es la apariencia?
- Grupo: Líquida.
- P: ¿Qué más observaron?
- Grupo: Es transparente.
- P: ¿Qué más percibieron, ustedes solamente perciben con la vista?
- Grupo: El olor fuerte, como a alcohol.
- P: ¿Cómo llegó el olor a ustedes?
- W: Porque las partículas de la acetona se mezclaron con las del ambiente, entonces, como nosotros respiramos el oxígeno, esto hace que las partículas entren a nuestra nariz.

- P: ¿Pero las partículas fueron llevadas por el aire o tienen movimiento propio?
- M: Tienen movimiento propio.
- P: Explíqueme que está pasando con la cetona.
- M: Esos dos sistemas están interactuando.
- P: ¿Cuáles dos sistemas están interactuando?
- M: La acetona y el aire o medio ambiente, entonces allí hay un pequeño intercambio de energía; entonces esto hace que la acetona cambie a estado gaseoso.
- P: Explícame el proceso a nivel submicroscópico.
- M: Las partículas de la acetona interactúan con las partículas del aire, entonces, al interactuar intercambian energía hasta que llegan a un estado de equilibrio térmico, **entonces, esas partículas de la acetona se pasan a un estado gaseoso**, pero no todas, sino algunas.
- P: ¿Quién está en un estado gaseoso, las partículas o la sustancia?
- M: Las sustancias están en el estado gaseoso.
- P: Cierto, ¿qué le pasa entonces a las partículas?
- M: Se alejan.
- P: Muchachos, esta es otra experiencia empírica que les ayuda a contrastar la idea de que las partículas tienen movimiento propio o intrínseco, ¿están viendo?; no que el aire las mueve. Ahora, lo más importante es que están haciendo un análisis a nivel submicroscópico, utilizando los esquemas conceptuales de la química, adicionalmente, no están siendo hablados por el lenguaje, sino que utilizan los términos formales, pero conociendo el significados de los mismos.

Ahora, el profesor vierte al contenido de acetona un volumen de agua, agitándolo constantemente, y aprovecha para decirles a sus estudiantes que el hecho de que llegue a nosotros el olor a acetona es otra evidencia empírica de que la materia es discontinua, en otros términos, que está formada por partículas, es decir, si no estuviera formada por estas entidades, no se podría detectar el olor a grandes distancias. Posteriormente, le agrega a la mezcla ácido esteárico, sin dejar de agitarla; así, él comienza a moverse por todo los alrededores del laboratorio y les pide a sus estudiantes que hagan sus observaciones, mientras que los interroga acerca de lo observado. Es de destacar que la anterior situación lleva a los aprendices a recuperar de su memoria permanente ideas como: mezclas homogéneas, mezclas heterogéneas y solubilidad, de hecho, estos tópicos, junto con las tareas problematizadoras adscriptas al nivel submicroscópico, serían el detonante para inducirlos a construir la gran idea del espacio vacío.

Después de la demostración de la mezcla de acetona, agua y ácido esteárico, el profesor les dice a sus estudiantes que ahora ellos deben de desarrollar las actividades 2, 3 y 4 de la guía «Explicando la disolución» (ver Anexo 7), pero que él estará rotando por todos los grupos con la intención de monitorear el nivel de comprensión, confusión y compromiso con el trabajo académico. Luego de estas orientaciones, los estudiantes se dirigen a sus respectivos grupos, y de manera autónoma preparan los instrumentos necesarios para realizar su trabajo de laboratorio, de acuerdo al plan que ellos han elaborado previamente.

Tras haber transcurrido un tiempo prudencial, el profesor comienza a rotar alrededor de los pequeños grupos de discusión; llegando al grupo de Andrés Felipe, Walter, Francia y Carlos, en el cual detecta un incidente crítico que hace referencia a dos posturas diferentes acerca de la explicación del proceso de la disolución de la acetona en el agua. Así, la primera de ellas está a favor de la idea de que las partículas de acetona ocupan los espacios vacíos que existen entre las partículas de agua, y la segunda considera que las partículas de acetona se unen con las de agua, formando una nueva sustancia. La anterior situación no le generó ansiedad al profesor, sino que se presentó como una oportunidad para dirigir un conjunto de preguntas pertinentes a los estudiantes que les permitiría tratar con sus concepciones alternativas. Así pues, esta acción inteligente fue posible gracias a que tiene un rico conocimiento de las concepciones intuitivas en las que se apoya el estudiante para aprender el tópico en consideración, es decir, sabe que cuando los estudiantes tratan con las disoluciones se les dificulta conservar la identidad de la sustancia. El siguiente diálogo entre el profesor y los estudiantes ilustra la concepción alternativa que hace referencia a la formación de una nueva sustancia durante el proceso de la disolución:

- A: Profesor, yo digo que las partículas de acetona se meten en los espacio vacíos que hay entre las moléculas de agua, pero mi compañero tiene otra idea.
- C: **Las partículas de agua, al mezclarse con las de acetona, formarían una nueva sustancia, o una nueva mezcla, y esa sería una mezcla homogénea en la que no se diferencian sus componentes.**
- A: Pero, a lo que yo me refiero es al esquema de conservación, aquí las partículas no se fusionan, por ejemplo, si tenemos tres partículas de agua más tres partículas de acetona y se mezclan, quedan las seis partículas, pero van a quedar interaccionando entre ellas para que se pueda hacer la mezcla, allí es donde yo tengo la duda.
- C: Yo digo que si eso fuera así, sería una mezcla heterogénea.

- A: No, heterogénea sería representar las partículas de las sustancias con un límite, es decir, una sustancia quedaría encima de la otra (el niño hace una representación a nivel macro y submicro de una mezcla heterogénea)
- P: ¿Entonces, qué está sucediendo en la disolución?

El profesor señala el gráfico que Carlos ha construido para representar el momento en que el agua interacciona con el ácido para formar una nueva sustancia, y pregunta:

- P: Aquí se está formando una nueva sustancia; si cogiera esa mezcla de agua y acetona, y la pusiera a calentar, ¿será que se podrían separar o no?
- W: De pronto, una tiene mayor densidad que la otra, entonces se evaporaría más rápido la de menor densidad.
- P: ¿Entonces la interacción entre la acetona y el agua forman una nueva sustancia? O es una mezcla de sustancias.
- A: Ellas son sustancias puras, y si se mezclan sería una mezcla homogénea, no sería una sustancia pura, entonces, si lo calentamos, se evaporarían las dos.
- P: Lo que quieres decir es que la acetona y el agua se están uniendo para formar una sola sustancia.
- A: No.
- P: Carlos plantea otra posición, ¿cuál es?
- C: Las partículas del agua y de la acetona están mezcladas en sus espacios vacíos, y se cumpliría con la conservación de la sustancia.
- P: ¿Qué pasaría cuando mezclamos agua y sal? O regresando acá, ¿qué pasó con las partículas del agua y la acetona?
- C: Quedaron juntas.
- P: ¿Si quedaron juntas, quiere decir que se formó una nueva sustancia?
- A: Pues no.
- C: No, cercanas.
- P: ¿Y si quedan cercanas, en qué espacio están ellas?
- C: En el espacio que tenían inicialmente las partículas de agua en el estado líquido.
- P: ¿Hay o no hay espacio entre las partículas de las dos sustancias?
- C: Sí, las partículas de acetona van y ocupan los espacios vacíos que hay entre las partículas de agua.
- P: ¿Por qué decís eso Carlos?, ¿porque te lo han enseñando en los grados anteriores?
- C: No, porque se me vino ahora a la cabeza; sí, hay espacios entre las partículas.

Vale la pena señalar que el profesor a lo largo de esta primera actividad formuló una serie de preguntas a los estudiantes, con el propósito deliberado de monitorear el nivel de desarrollo del esquema conceptual de la conservación del número de partículas y la identidad de la sustancia; dado que él considera que este esquema es un prerrequisito para que los estudiantes puedan comprender y diferenciar los cambios físicos de los químicos; teniendo que en los primeros se conserva tanto el número de partículas como la identidad de la sustancia, en cuanto que en los segundos solo se conserva el número de partículas y varía la naturaleza de la sustancia. El siguiente diálogo entre el profesor y los estudiantes evidencia esta acción:

- P: ¿Cuál esquema conceptual que se desarrolla aquí?
- C: Interacción, conservación.
- P: ¿Conservación de qué, Carlos?
- C: Se conserva la cantidad de sustancia.
- P: La cantidad de sustancia, ¿qué más se conserva?
- C: El número de partículas.
- P: Hay algo muy importante que se conserva allí. ¿Será que el agua sigue siendo agua después de haberse mezclado o se convirtió en otra sustancia después haber interaccionado con la acetona?
- Estudiantes: No contestan.
- P: ¿Qué me están diciendo ustedes?, ¿que la acetona ocupa los espacios que hay entre las partículas de agua, pero que no se unen?; ¿cuando se unen forman una nueva sustancia?
- A: Entonces, el agua seguiría siendo agua, porque las partículas no están unidas a las de la acetona; por eso, seguirían conservando sus propiedades.
- P: ¿Entonces allí qué se conserva? Además de conservarse el número de partículas, ¿qué más se conserva?
- F: Las propiedades.
- P: ¿Propiedades de qué?
- C: Se conserva las propiedades de la sustancia. Sí, nos quedó bien este planteamiento.
- P: Más que decirles que les quedo bien o mal, sí se están aproximando, pero lo mejor es que hay dos posturas que se midieron y que entraron a convencer el uno al otro. Ahora, me gustaría que hicieran la mezcla de agua y sal, para que acaben de reafirmar esta parte.

Después de que los estudiantes desarrollaron y socializaron las actividades de aprendizaje de la guía «Explicando la disolución», el profesor realizó una demostración a sus aprendices en la que les muestra dos vasos, en uno

de ellos hay sal y en el otro, agua; adicionalmente, les formula el siguiente interrogante: «¿será que el agua y la sal están ocupando *un* espacio?», de inmediato los estudiantes respondieron: «sí»; entonces, el profesor muestra un vaso completamente lleno con agua (hasta el borde), pidiéndoles que hicieran una predicción, «¿qué sucedería si le agregamos la muestra de sal al vaso que está completamente lleno de agua?», los estudiantes, en su mayoría, respondieron que «el agua se derramaría». De hecho, el profesor esperaba que hicieran esta predicción, la cual coincidía con las concepciones alternativas que traen los estudiantes cuando se enfrentan al aprendizaje de este tópico que él ha ido descubriendo a lo largo de su experiencia docente, por lo que procedió a recordarles que dos cuerpos no pueden ocupar al mismo tiempo el mismo espacio (principio de la impenetrabilidad).

Después de la observación y predicción hecha por los estudiantes, el profesor procedió a realizar la demostración, agregando la sal lentamente al agua; ahora, como él lo esperaba, esta no se derramaría; así que comenzó a formular la siguiente serie de preguntas a sus estudiantes: ¿Por qué no se regó el agua? ¿Dónde está la sal? ¿Cómo se ubica esta dentro del agua? ¿Aún permanece la misma cantidad de sal dentro del agua? ¿Se conserva la misma cantidad de sal? ¿Se podrá separar la sal del agua? Luego de formular las preguntas a los estudiantes, les dice que deben procurar responder estos interrogantes tanto a nivel macroscópico como submicroscópico.

Antes de que los estudiantes se organizaran en los pequeños grupos de discusión, el profesor Santiago les pide que hagan otra predicción, y les pregunta: «¿qué sucedería si le agrego más sal a la mezcla de agua-sal?». Ahora bien, enumeramos algunas de las predicciones hechas por los estudiantes: «el agua no se regaría», «sí se riega», «depende de la cantidad de sal que se agregue, se podría regar». Después de las predicciones de los estudiantes, el educador procede a añadir más sal al agua. Como lo esperaba, la mezcla de agua-sal se derramó cuando se le agregó una cantidad considerable de sal. Tras este hecho, le formula a los aprendices la siguiente pregunta: «¿Por qué se regó la mezcla de agua-sal después de que se le adicionó más sal?».

Los estudiantes se organizaron en pequeños grupos de discusión para darle respuesta a las anteriores preguntas. Luego de un tiempo prudente, el profesor les anuncia a los estudiantes que se va a empezar la socialización, por lo que necesita que estén atentos a lo que digan sus compañeros. En el siguiente fragmento del diálogo establecido entre los miembros del colectivo áulico se puede ver el pensamiento tanto del profesor como de los estudiantes en cuanto a la idea del espacio vacío entre las partículas:

— P: Por favor Jefferson, ¿que respondió en la primera pregunta?

- J: El agua no se regó porque al agregar la sal las partículas de esta llegan a ocupar los espacios vacíos que hay entre partícula y partícula de agua.
- P: ¿Qué opina Carlos de lo que dijo Jefferson?
- C: La respuesta está correcta, porque al agregar la sal esta ocupa los espacios vacíos que hay entre las partículas de agua.
- P: ¿Qué respondió Rosalinda Asprilla?
- R: Porque la sal tiene un determinado volumen y el agua también, tal vez por lo que se percibe, el agua posee mayor volumen comparado con la cantidad de sal, por lo tanto, sus partículas son mayoría y las de la sal minoría. Así, se puede observar que el agua no se derrama, ya que las partículas de sal eran menos y en el agua se podían ubicar en los espacios vacíos que hay entre las partículas de esta.
- P: ¿Camilo, qué opinas del discurso de Rosalinda, fuiste consciente de este?
- C: Parte del discurso es cierto, debido a que el agua en esta mezcla tiene mayor volumen y posee mayor número de partículas de agua que la muestra de sal, así, al haber más partículas de agua, existen muchos más espacios que pueden ser ocupados por las partículas de la sal.
- P: ¿Desde qué nivel de representación Rosalinda abordó la respuesta?
- Grupo: Desde los dos niveles, macroscópico y submicroscópico.
- P: ¿Felipe, que respondió a la pregunta número dos?
- F: La sal, al ser una sustancia soluble en agua, nos damos cuenta de que, al agregar la sal en el agua, las partículas de esta se ubican entre los espacios de las partículas de agua; ahora, las partículas de sal que no se disuelven va al fondo del recipiente.
- P: Quintana, responde la tercera pregunta.
- Q: La sal se ubica dentro del agua por medio de los espacios intermoleculares.
- P: Creo que Rosalinda tiene la idea, pero cuando la expresa por escrito no queda muy clara, ya que ella realizó la producción escrita, pero no tuvo tiempo de revisarla; por eso, es muy importante la parte de la comunicación escrita, así pues, todo escrito hay que revisarlo. ¿Villegas, qué nos podes decir?
- V: El agua no se regó debido a que la sal, al introducirse al agua, ocupó los espacios vacíos intermoleculares de la misma. Ahora, a la segunda pregunta: la sal está ocupando los espacios intermoleculares del agua. En cuanto a la pregunta de la cantidad de agua, afirmo que permanece la misma cantidad, ya que la sal está allí, así no la veamos.
- P: ¿Cuál esquema conceptual estás desarrollando allí?
- V: Conservación.

- P: ¿Qué clase de conservación?
- V: Conservación de cantidad.
- P: ¿Permanece o no permanece la misma cantidad de sal?
- V: Sí.

PaP-eR n.º 5

Cuando el cambio va más allá de la apariencia

Introducción

Este PaP-eR retrata los razonamientos y las acciones pedagógicas movilizadas por el profesor durante la planeación, enseñanza y reflexión de la gran idea del «cambio químico», con la intención de ayudar a los estudiantes a acceder a ella. Para conseguirlo, representa este tópico a través de una práctica de laboratorio y demostraciones, que tienen una estructura lógica; abordando, en primer lugar, actividades adscriptas al nivel macroscópico, para posteriormente tratar las actividades pertenecientes al nivel submicroscópico. Adicionalmente, este relato describe la manera en que el profesor Santiago monitorea el nivel de comprensión, confusión y compromiso de los estudiantes durante el aprendizaje del tópico en cuestión, con el propósito de realizar una retroalimentación *in situ*.

El pensamiento de Santiago durante la planeación

A través de mi historia como aprendiz y maestro, he conceptualizado el tópico del cambio químico o reacción química como problemático en los procesos de enseñanza-aprendizaje, ya que he evidenciado que en este convergen tres elementos esenciales para la internalización del currículo de esta disciplina, a saber: los núcleos conceptuales, los esquemas conceptuales de la química y los niveles de representación, los cuales han sido descuidados tanto por los formadores de formadores a lo largo de los programas de educación como por los profesores de química durante la planeación, enseñanza y reflexión de esta idea. El siguiente fragmento ilustra la idea expresada arriba:

Vale la pena decir que el desarrollo de la idea de cambio químico es problemática para los estudiantes; por ello, no basta con pocas actividades concretas para que ellos puedan comprenderla, de hecho, se requiere de una serie de actividades concretas y de interrogantes pertinentes que les permitan comenzar a construir este concepto tan complejo de forma progresiva. De ahí la importancia de que los profesores seamos conscientes de la existencia de los niveles de representación, los núcleos conceptuales y los esquemas de la química.

Ahora, considero que a muchos estudiantes en la educación secundaria se les dificulta realizar una articulación entre propiedades de la materia, tales como la masa y la identidad de la sustancia (identidad de átomos y moléculas), dado que las conciben como problemas diferentes; además, no son conscientes de que dichas propiedades están condicionadas por los cambios en la estructura submicroscópica de la materia; situación que los ha llevado a pensar que, cuando dos o más sustancias interactúan, disolviéndose la una en la otra, estas no solamente cambian su apariencia, sino su identidad (creen que se formó una nueva sustancia). Sin embargo, cuando se trata de interpretar los cambios de estado de agregación, les resulta más fácil pensar que, a pesar de haber un cambio en el aspecto físico, se sigue manteniendo la identidad de las partículas que constituyen la sustancia (cambio físico).

Igualmente, he llegado a pensar que los estudiantes que han recibido una instrucción sobre las grandes ideas de la discontinuidad de la materia, aceptan la conceptualización según la cual las moléculas de las sustancias interactúan para formar unos nuevos compuestos; no obstante, continúan creyendo que las sustancias son fragmentos que se unen, en consecuencia, consideran que las moléculas son aditivas, es decir, se suman unas a otras para formar entidades más grandes. Asimismo, presupongo que los aprendices utilizan los términos de la teoría corpuscular, pero sin haberlos internalizado completamente, de ahí que no tomen en cuenta el debilitamiento y fortalecimiento simultáneo de las fuerzas interatómicas que permiten la reorganización de los átomos durante la reacción química. Lo anterior genera en los estudiantes de secundaria y primer año de universidad una enorme dificultad para interpretar a nivel submicroscópico los términos de una ecuación química; además del obstáculo que se presenta en el establecimiento de las relaciones estequiométricas.

Por lo tanto, considero que la enseñanza del concepto del cambio químico ha venido siendo fundamentada por una concepción implícita de comprensión instrumental o memorística, que ha inducido al estudiante a memorizar un conjunto de detalles del tópico en cuestión (por ejemplo, ley de la conservación de la materia, balanceo de ecuaciones químicas, cálculos estequiométricos, etc.), así como a realizar cálculos algorítmicos, en detrimento de una conceptualización o comprensión relacional del fenómeno químico desde una perspectiva submicroscópica, nivel en donde las moléculas de las sustancias interactúan, produciéndose de manera concomitante un debilitamiento y fortalecimiento de las fuerzas interatómicas, hecho que causa una reorganización de las partículas, haciendo que varíe la identidad de las moléculas y se conserve la cualidad de los átomos.

Consecuentemente, cuando planeo y enseño esta idea de cambio químico, me propongo extenderla más allá del punto de dar una definición correcta, ya sea en el lenguaje de la química o en el lenguaje de la vida cotidiana, es decir, busco, más que listar un conjunto de reacciones químicas y cálculos algorítmicos, que los estudiantes por sí mismos construyan la esencia de este tópico a partir de la diferenciación e integración de los tres niveles de representación, además, que continúen desarrollando los esquemas conceptuales de conservación del número de partículas y de la identidad de la sustancia. De hecho, los anteriores aspectos son un prerequisite para poder comprender otros tópicos de la química que se encuentran articulados con el núcleo conceptual de las relaciones cuantitativas y de la conservación de propiedades no observables (estequiometría, equilibrio químico, soluciones, elemento, compuesto, átomos, moléculas, ecuación química, etc.).

Así pues, diseño una estrategia que guíe al estudiante a desarrollar de manera gradual el concepto, comenzando por situaciones concretas en donde se lo enfrenta a experiencias con el fenómeno de la reacción química (nivel macroscópico), se lo anima a enriquecer y recrear sus concepciones alternativas de acuerdo a su madurez cognitiva. Posteriormente, él deberá enfrentarse con situaciones de un mayor grado de complejidad adscriptas al nivel submicroscópico, que le permitirán construir un modelo teórico lo más próximo al concepto de cambio químico.

En cuanto al nivel de tratamiento del tópico del cambio químico (reacción química), lo he secuenciado en dos vertientes: el ámbito cualitativo y el cuantitativo; el primero hace referencia a la comprensión de lo que ocurre durante el fenómeno químico a nivel submicroscópico, en donde las moléculas interaccionan, generándose simultáneamente un debilitamiento y fortalecimiento de las fuerzas interatómicas, hecho que ocasiona que éstas cambien su identidad, pero se mantiene la cualidad de los átomos. Por otro lado, el segundo ámbito hace referencia al cálculo proporcional del proceso o establecimiento de las relaciones estequiométricas para una reacción en la que intervienen sustancias puras en cualquiera de los tres estados de agregación. Se debe resaltar que la educación en química ha descuidado el primer ámbito, focalizando el acto educativo en los cálculos estequiométricos como la parte fundamental del estudio de las reacciones químicas (comprensión instrumental). Por lo que considero pertinente comenzar la secuencia de enseñanza-aprendizaje de este tópico con una interpretación cualitativa del proceso a nivel submicroscópico, que le permitirá al estudiante fundamentar teóricamente los cálculos proporcionales.

Finalmente, la experticia que he adquirido a lo largo de los años, planeando y enseñando el tópico de la discontinuidad de la materia, me ha

permitido tomar decisiones competentes en cuanto a la secuenciación y temporalización de las grandes ideas de este núcleo conceptual; de ahí que considere importante abordar primero conceptualizaciones a nivel cualitativo, que tratan las propiedades y cambios de la materia en los tres niveles de representación (por ejemplo: la materia está constituida por pequeñas partículas, el movimiento intrínseco de las partículas, la existencia del espacio vacío entre las partículas, y el arreglo de las partículas condicionan las propiedades macroscópicas), junto con el desarrollo del esquema de la conservación del número de partículas y el de la cualidad de la sustancia, con el propósito de que los estudiantes construyan un marco teórico de referencia (conocimiento requerido como prerrequisito) que fundamente más adelante la comprensión del tópico de cambio químico tanto a nivel cualitativo como cuantitativo.

Acciones inteligentes del profesor durante la clase

El profesor comienza el acto educativo comentándoles a sus estudiantes que uno de los propósitos fundamentales de este trabajo de laboratorio («Las reacciones químicas», ver Anexo 8) es la conceptualización del tópico de cambio químico a un nivel de tratamiento cualitativo, el cual ha sido reconocido por los educadores de química como una idea compleja tanto para enseñarla como para aprenderla, gracias a que esta compete con el constructo de cambio físico. Adicionalmente, para su internalización se requiere que los sujetos hayan comenzado a desarrollar el esquema conceptual de la conservación del número de partículas y de las sustancias (en una reacción química no se conserva la identidad de las moléculas, pero sí la de los átomos). Otro propósito que él enumera es el de seguir fundamentando la diferenciación e integración de los tres niveles de representación de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico), ya que este sistema de representación es el lenguaje de esta disciplina, y si no se comprende, resulta casi imposible comprender los tópicos del currículo de la química.

Seguidamente, el profesor les relata a sus estudiantes que ha seleccionado unas actividades de enseñanza desde el proyecto «Pensar con la ciencia» (Uribe, 2005) que les permitirá la construcción progresiva del tópico de cambio químico y otros relacionados a él. Asimismo, destaca que en todas las lecciones previas a esta, se ha procurado abordar este concepto, por lo menos de manera tácita.

Por lo que se refiere a la estructura lógica del trabajo de laboratorio, les dice a los aprendices que se iniciará con la observación y descripción de las combustiones de las siguientes sustancias: la vela, el alcohol, la mez-

cla de azufre-cobre y la mezcla de azufre-hierro (nivel de representación macroscópico, ver Anexo 8); en segundo lugar, deberán explicar el evento de la combustión a nivel submicroscópico y, por último, representarán ambos mundos a través del nivel de representación simbólica. Adicionalmente, este tipo de tareas continuarán generando oportunidades para seguir desarrollando los esquemas de interacción sistémica, conservación y equilibrio térmico. Estas acciones del profesor responden a su criterio sobre la importancia de que los estudiantes conozcan de antemano los propósitos de cada actividad de enseñanza, tanto teórica como de laboratorio. Como lo declaró el profesor Santiago durante la enseñanza del tópico en cuestión:

Los estudiantes deben de ser conscientes de cada uno los propósitos de las actividades, tanto de estructura teóricas como de experiencia de laboratorio; de hecho, este es un aspecto esencial del proceso de enseñanza, dado que si los estudiantes son conocedores de los propósitos, ellos sabrán el porqué de cada actividad, y no asumirán la práctica de laboratorio como una simple receta de cocina, sino que tendrán explicaciones para cada una de las acciones ejecutadas.

Antes de dar inicio a la primera actividad de la guía «Reacciones químicas», el profesor les pregunta a los estudiantes acerca de las diferentes ideas que se han desarrollado en las lecciones previas en torno al núcleo de la discontinuidad de la materia, además de los esquemas conceptuales que se han comenzado a potenciar; estos nombran las siguientes: vacío entre partícula y partícula; fuerzas intermoleculares; presión; temperatura; la materia está formada por partículas; polaridad; movimiento de las partículas; tamaño de las partículas; estados físicos de las sustancias; cambios de estados físicos; conservación de sustancia y conservación del número de partículas; equilibrio térmico, e interacción.

Después de haber consignado en el tablero estas respuestas, el profesor les dice a sus estudiantes: «miren todo lo que han aprendido aquí, de hecho, estas ideas maravillosas son un prerrequisito para poder comprender el tópico de reacción química tanto a nivel cualitativo como a nivel cuantitativo». Nuevamente, vuelve a interrogar a los aprendices: «¿qué mundos hemos relacionado aquí?»; de inmediato ellos contestan: «el mundo macroscópico y submicroscópico»; luego, pregunta: «¿cómo hemos llamado a estas relaciones?»; los estudiantes responden que «son los tres niveles de representación, macroscópico, submicroscópico y simbólico». Finalmente, uno de los estudiantes le dice al profesor que también se abordó la idea de «que las sustancias tienen una apariencia que depende de cómo las partículas estén arregladas»; ahora, este hecho lo aprovecha el profesor para

declarar que esa es una idea clave, ya que la apariencia y las propiedades de la materia dependen de la organización de las partículas.

Luego de esta serie de preguntas y respuestas, el enseñante les dice a sus estudiantes que ya se ha abordado de manera central la idea de los cambios físicos, cuando se desarrollaron las prácticas de laboratorio de «Estados de la materia» y «Explicando las disoluciones»; además, les recuerda cada uno de los atributos principales de este evento tanto a nivel conceptual como a nivel de esquemas. En otras palabras, el profesor recapitula la idea de que en «un cambio físico se conserva tanto la naturaleza de la sustancia como el número de partículas»; pone el ejemplo del calentamiento del ácido esteárico en dos condiciones diferentes, les recuerda que cuando la cantidad de calor suministrada fue adecuada, el ácido cambió de apariencia, y que después de retirarlo de la llama regresó de nuevo a su estado inicial (estado de agregación sólido y color blanco), lo cual indica que se ha conservado la naturaleza de la sustancia; en cambio, cuando se lo calentó durante un tiempo prolongado, este regresó al estado sólido, pero su color ahora es amarillo, este hecho mostró que no se conservó la naturaleza de la sustancia. Las anteriores ideas se pueden evidenciar en lo expresado por el profesor Santiago cuando se le preguntó: ¿cuál es el propósito de formularles a los estudiantes esa serie de preguntas?, su respuesta se incluye a continuación:

Pretendía que los estudiantes relacionaran las actividades de laboratorio pasadas (en las que se abordó de manera central la idea de cambio físico y de manera tácita la de cambio químico) con la actividad experimental que ellos desarrollarían, donde la idea central a tratar sería el cambio químico, es decir, intentaba contextualizar al estudiante; por eso, hice que ellos evocarán las ideas, los esquemas conceptuales y los niveles de representación; es decir, todos los elementos conceptuales que hasta el momento se habían comenzado a desarrollar durante el curso, con el propósito de que los movilizaran para tratar de lograr la comprensión de los fenómenos químicos con los que se enfrentarían durante la práctica de laboratorio.

Ahora, durante el desarrollo de la actividad de la combustión de la vela y del alcohol, el profesor rota por los pequeños grupos de discusión con la intención de detectar los incidentes críticos (concepciones alternativas, dificultades y limitaciones) y así poder retroalimentar el proceso de aprendizaje de los estudiantes. A lo largo de esta acción pedagógica, el profesor logra descubrir que los estudiantes adscriben tanto el proceso de la combustión de la vela como el del alcohol a la categoría de cambios físicos; es decir, respecto al primero, ellos afirman que la parafina se derrite y, frente al segundo, declaran que el alcohol se evapora cuando está en combustión. Adicional-

mente, él visualiza que la mayoría de los estudiantes no mencionan el aire ni el oxígeno en sus primeras explicaciones sobre la combustión, sin embargo, después de inducirlos a través de preguntas, ellos logran reconocer a este elemento como fundamental para el proceso de la combustión, es decir, admiten la necesidad del oxígeno, pero no tienen claridad acerca de su función.

Así pues, al detectar el anterior incidente crítico durante la actividad de combustión de la vela, el profesor asume una nueva estrategia, fundamenta en una organización de la clase de estructura interactiva, en la que hace uso de la demostración de la combustión de la vela o el alcohol tanto en sistema abierto como cerrado.

Además, formula una serie de preguntas a los estudiantes acerca del proceso en cuestión que los induce a tomar conciencia de los sistemas que están participando en el fenómeno químico (parafina, aire y mecha) y, por tanto, a evidenciar empíricamente, a través de la combustión de la vela en un sistema cerrado, el papel clave del aire en el proceso. Ahora, cuando se interrogó al profesor Santiago por el propósito de la demostración de la combustión de la vela en un sistema cerrado, él respondió:

Presupongo que a los estudiantes se les dificulta incluir la mezcla de aire como uno de los sistemas claves que interviene en el fenómeno de la combustión, gracias a que no lo pueden percibir a través de la vista, y mucho menos logran concebir que este se consume en un sistema abierto; por ello, consideré pertinente comparar los dos sistemas en la combustión.

Desde luego, a través de esta representación (combustión de la vela en un sistema cerrado), el profesor también se propone que los estudiantes puedan «ver» que durante la combustión se generan unas nuevas sustancias (nivel macroscópico) o nuevas moléculas por la reorganización de los átomos (nivel submicroscópico); adicionalmente, considera que todas estas actividades les permitirían a los estudiantes poder conceptualizar la conservación del número de partículas, la conservación de la identidad de los átomos, además de la variación de las moléculas a lo largo de un cambio químico; todos estos son aspectos que establecen las bases para poder comprender las leyes ponderales, fundamentales para el cálculo proporcional en la química.

Durante esta práctica, hubo un momento en el que el profesor permaneció atento a la discusión entre dos estudiantes, lo que lo instó a intervenir para despejar las dudas y corregir concepciones erróneas al respecto, y lograr que los estudiantes comenzaran a construir las bases teóricas de manera apropiada. El profesor narra así su actuación:

En ese instante me di cuenta de que los estudiantes no habían comenzado a desarrollar la idea de cambio químico, además, habían encuadrado el fenómeno de la combustión dentro del marco teórico de los cambios físicos. Observe, ellos estaban diciendo que la parafina se derrite, porque el calor hace que las partículas se separen, pero no dicen que estas se están uniendo a otras partículas para formar una nueva, para ellos es más fácil decir que la parafina se derrite o, en algunos casos en donde uno presiona al grupo, terminan diciendo que se evapora. Ahora, considero que este concepto es demasiado complejo para aprenderlo con tan solo una actividad, se necesita de muchas actividades que le permitan a los estudiantes ir construyendo la idea de manera progresiva. Adicionalmente, en el momento en que me di cuenta de que no estaban entendiendo, pensé: ¿qué podría hacer para que comprendieran un poco más?, entonces, introduje en el sitio la actividad con el mechero de alcohol (sistema cerrado) y comencé a formular preguntas muy parecidas a las que había hecho durante la actividad con la vela, en una especie de situación análoga; adicionalmente, traje ejemplos de la vida cotidiana, como el tubo de emisión de gases del carro y de la moto, en otras palabras, me tocó improvisar en ese momento para que por lo menos los estudiantes comenzaran a desarrollar el concepto.

Los siguientes tres fragmentos extraídos de un diálogo entre el profesor y los estudiantes, ilustran los diferentes tipos de interrogantes que les permiten a estos últimos comenzar a construir una idea acerca del cambio químico, que, si no es la mejor, por lo menos es más elaborada:

- P: Bueno, muchachos, expliquen ¿qué es derretir?
- A: Cuando el calor hace que un sólido pase a líquido.
- P: ¿Pero, no se transforma? ¿O se transforma en otra sustancia?
- Grupo: No, sigue siendo la misma.
- P: O sea, la parafina allí sigue siendo parafina y la mecha sigue siendo mecha.
- W: **La parafina solo cambia de apariencia o estado físico.**
- [...]
- P: Si tuviera encendido este mechero, ¿qué pasaría con la cantidad de alcohol?
- C: Se acaba el alcohol primero.
- P: ¿Por qué se acaba el alcohol?
- F: **Porque se evapora.**
- P: Si el alcohol es un combustible, ¿qué pasará con él?
- C: El alcohol es el combustible y el que mantiene el fuego prendido, entonces la mecha hace que el alcohol suba hasta el aire.
- P: ¿Hasta dónde sube el alcohol?

- C: La mecha absorbe el alcohol.
- P: Entonces, ¿qué pasa con ese alcohol que ascendió cuando yo prendo la mecha?
- F: Se va agotando.
- P: ¿Por qué se agota el alcohol?
- A: **Porque la mecha va absorbiendo el alcohol y este se va evaporando, es decir que las partículas se difunden en el aire.**
- P: Pero, este sigue siendo alcohol. ¿Ustedes están percibiendo en este momento de la combustión el olor a alcohol?
- W: Sí se percibe.
- P: Niñas, ¿cuáles son los sistemas que están interaccionando allí?
- T: El aire, la vela y la mecha.
- P: Cuando hablan del medio, ¿a qué se refieren?
- D: Al aire.
- P: ¿Será que el aire es fundamental para mantener encendida la vela?
- Y: El aire transmite la energía.

El profesor pide que traigan un vaso de precipitado para que cubran la vela encendida a ver qué sucede.

- P: ¿Será que el aire se consume?
- Grupo: (No responde).
- P: ¿Qué sistemas están interactuando allí?
- Grupo: El aire, la vela, la mecha y la llama.

Hay que destacar que el profesor Santiago, evidenció que a través de esta demostración (combustión de la vela en un sistema cerrado) los estudiantes pudieron detectar a nivel macroscópico la formación del gas carbónico (humo gris), no obstante, se les dificultó percibir la producción del vapor de agua como un producto del proceso químico, a pesar de que las paredes del recipiente que cubría la vela en combustión se empañaban. Por ejemplo, cuando el profesor les preguntó, «¿de dónde proviene el agua que está empañando las paredes del recipiente?», todos los estudiantes respondieron que esta procedía del aire. Al detectar esta dificultad, el docente reflexionó en la acción y de inmediato dirigió a los estudiantes una serie de preguntas que giraron en torno a los esquemas de interacción de sistemas y el equilibrio térmico, con la intención de que estos pudieran «ver» que la vela encendida está interaccionando con las partículas de agua que se encuentran disueltas en el aire, lo cual hace que el sistema vela en combustión le transfiera energía a las partículas de agua, haciendo que estas

últimas aumenten su movimiento y distancias intermoleculares, hecho que le permite a esta sustancia permanecer con una apariencia gaseosa.

De esta manera indujo a los estudiantes a razonar en términos de interacción y equilibrio térmico, lo que les permitió comenzar a identificar que tanto el agua que empañaba las paredes del recipiente que cubría la vela en combustión como el gas carbónico, de color gris, provenían de la interacción de las moléculas de parafina con las moléculas de oxígeno. Vale la pena decir que la actividad estuvo adscripta al nivel de representación macroscópico. Los siguientes diálogos extraídos de los relatos narrativos de las clases del profesor Santiago, permite ilustrar las ideas anteriores:

- P: (Tomando un vaso de precipitado para cubrir la vela en combustión, pregunta) Si cubro la vela con este vaso de precipitado mientras está en combustión, ¿qué sucedería?
- Grupo: Se apaga la vela.
- P: ¿Por qué se apaga la vela?
- Grupo: Se acaba el oxígeno que está en el aire.
- P: ¿El oxígeno es materia o no lo es?
- Grupo: Sí, es materia.

Ahora, el profesor procede a cubrir la vela que está en combustión, con un vaso de precipitado cuyas paredes están completamente secas. No deja de resaltar que las paredes de este recipiente están secas, además, le pide a los estudiantes que observen detenidamente. De nuevo, comienza a realizar una serie de preguntas:

- P: ¿Bueno, qué observan ustedes por las paredes del recipiente?
- Y: Las paredes del vaso se empañaron.
- P: Cuando me dicen que se empaña, ¿eso qué quiere decir?
- T: ¡Ah!, eso es agua.
- P: Entonces díganme, ¿esa agua de dónde provino?
- Grupo: Del aire.
- P: ¡Del aire!

El profesor seca la superficie interna del vaso de precipitado, y con él vuelve a cubrir la vela en combustión, preguntando nuevamente:

- P: ¿Qué sistemas están interactuando?
- Grupo: Vela, aire, mecha.
- P: ¿Qué partículas están interaccionando allí?

- V: Las partículas de parafina.
- P: ¿Solamente las de parafina?
- C: No, también las del aire y las de la mecha.
- P: ¿Quién tiene mayor temperatura el aire o la llama de la vela?
- C: La llama de la vela.
- P: Entonces, ¿en qué dirección se transfiere la energía; del aire a la vela o de la vela al aire?
- W: Profe, lógico, de la llama de la vela al aire, o sea, el aire está ganando energía.
- P: ¿Si el aire gana energía, cómo será el movimiento de las partículas de este?
- Grupo: Muy rápido, por eso está en estado gaseoso.
- P: Recuerden que el aire es una mezcla de oxígeno, agua, nitrógeno, hidrógeno y otras sustancias. Si las partículas que están en la mezcla de aire (moléculas de agua) están ganando energía, ¿será que podrán acercarse para que el agua se perciba en estado líquido y de esta forma empañe las paredes del recipiente?
- Grupo: (No contesta).
- P: Piensen, utilizando los conocimientos que hemos construido hasta el momento.
- W: Ah ya, las partículas de agua, como están ganando energía, no podrían acercarse las unas a las otras.
- P: Entonces, ¿de dónde proviene el agua que empaña las paredes del vaso de precipitado?
- Grupo: (No contesta).

Vale la pena señalar que el profesor se percata de que los estudiantes apenas están comenzando a comprender que el agua y el gas carbónico son un producto de la combustión tras haber invertido un tiempo prolongado en el desarrollo de esta idea, así como luego de exponer al aula representaciones, ejemplos cotidianos, prácticas de laboratorio y demostraciones que él planeó antes del acto educativo y a lo largo del mismo. Desde luego, la anterior situación no le genera un estado de desesperación, en virtud de su vasto conocimiento de las dificultades/limitaciones y concepciones alternativas con las que llegan los estudiantes al aula para enfrentar el aprendizaje del tópico en cuestión.

En efecto, al encontrarse ante esta situación compleja y singular, el profesor reflexiona en la acción y opta por la decisión de organizar la clase en estructura interactiva para introducir el nivel de representación simbólico, lo que le permite explicar las fórmulas que hacen parte de las ecuaciones

de la combustión de la vela y del alcohol, a saber: $C_{25}H_{52}$ (parafina), O_2 (oxígeno), C_2H_6O (alcohol), CO_2 (dióxido de carbono) y H_2O (agua). Adicionalmente, les formula una serie de interrogantes a los aprendices, con la intención de que hagan una diferenciación e integración de los tres niveles de representación, para que de esta manera puedan continuar construyendo la idea sobre el hecho de que las partículas de las sustancias que participan en un cambio químico no se crean, ni se destruyen, ni se transforman, solo se reorganizan, dicho de otra forma: a lo largo del proceso químico se conserva tanto el número de partículas como la identidad de los átomos, pero varía la identidad de las moléculas. Cuando se interrogó al profesor Santiago en relación al propósito de esta estrategia de enseñanza, este respondió:

Durante el monitoreo del nivel de comprensión de los estudiantes acerca de la idea del cambio químico, evidenció que les estaba costando mucho trabajo comprenderla, así que después de la clase reflexioné sobre qué hacer para acelerar esta comprensión, llegando a la conclusión de que debería comenzar a introducir el nivel de representación simbólico, que le ayudaría a los estudiantes a hacer una diferenciación e integración de los niveles de representación, lo cual les permitiría darle significado al término de cambio químico. También, esta actividad de enseñanza genera oportunidades para abordar contenidos tales como átomo, molécula, ecuación química, fuerzas de atracción, elemento y compuesto, que permitirían que los estudiantes comenzaran a desarrollar el esquema conceptual de la proporcionalidad, clave para la comprensión del núcleo conceptual de las relaciones cuantitativas.

En la siguiente sección se desarrolla la forma en que el contenido de los instrumentos metodológicos de la CoRe y los PaP-eRs puede ser utilizado como material curricular dentro de un curso de Aprendiendo a Enseñar Química de perspectiva de «orientación reflexiva» (Abell & Bryan, 1997), cuyo propósito deliberado es que los estudiantes-profesores enfrenten sus teorías personales acerca de la enseñanza y aprendizaje de dicha disciplina.

**PÁGINA EN BLANCO
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

INTEGRANDO LA CORE Y LOS PAP-ERS A LOS PROGRAMAS DE EDUCACIÓN DE LOS FUTUROS PROFESORES DE CIENCIAS

Los esfuerzos de las reformas curriculares en ciencias que se han venido realizando a lo largo de las décadas pasadas, han suscitado un consenso entre los miembros de los colectivos de investigadores de la enseñanza, quienes afirman lo siguiente: la calidad de la enseñanza que se está impartiendo en nuestras escuelas depende directamente de la eficacia de nuestros profesores, es decir, lo que nuestros estudiantes aprenden está correlacionado con el qué y el cómo enseñan los profesores; adicionalmente, lo que y cómo enseñan los profesores viene condicionado por su sistema de conocimientos, creencias y valores acerca de la enseñanza de la disciplina en cuestión, sistema que ha sido construido tanto por observación durante su vida de aprendiz como a través de las fases de formación, inducción y desarrollo profesional, en las que el maestro debe estar abierto siempre a un continuo aprendizaje para fortalecer y sostener la enseñanza ejemplar (Feiman-Nemser, 2001).

No obstante a la anterior asunción, se ha venido evidenciando que los programas convencionales de educación y desarrollo profesional del profesor no le están brindando las oportunidades de poder construir instrumentos cognitivos que le permitan ofrecer una enseñanza que promueva un aprendizaje comprensivo en los grupos de estudiantes. De hecho, estos programas convencionales han ejercido una débil influencia en la formación del enseñante comparada con la intervención del aprendizaje por observación, que él ha obtenido tanto desde su vida como aprendiz como desde su experiencia de trabajo en las escuelas.

De ahí que se considere que los programas de desarrollo profesional tanto para los estudiantes-profesores como para los enseñantes en ejercicio son usualmente casuales, desconectados y desarticulados con el trabajo a desempeñar en el aula; adicionalmente, a los diseñadores de estos programas de formación les falta realizar un seguimiento de sus fases de aplicación y desarrollo, con el propósito de detectar fortalezas y debilidades que guíen un proceso continuo de rediseño de dichos programas de acuerdo a los antecedentes del grupo de profesores que eventualmente sean parte de un estudio de esta naturaleza (Feiman-Nemser, 2001).

Por tanto, a menos que los profesores tengan acceso a serias y continuadas oportunidades de aprendizaje en cada etapa de su carrera (formación, inducción y desarrollo profesional), no estarían capacitados para enseñar de acuerdo a como lo demandan los estándares para el aprendizaje de los estudiantes propuestos en los marcos teóricos de las actuales reformas, o a participar en la solución de los problemas educativos complejos e inciertos de nuestras escuelas (Ball & Cohen, 1999).

Teniendo en cuenta los anteriores presupuestos, los investigadores de los programas de educación, junto con los educadores de profesores, han evidenciado la necesidad de querer capturar, documentar y representar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) de un profesor experimentado y ejemplar acerca de un tópico específico del currículo de las ciencias, con el propósito de que este saber práctico profesional pueda ser utilizado como material curricular de reflexión y deliberación tanto por los estudiantes-profesores como por los enseñantes en ejercicio a lo largo de los cursos de *Aprendiendo a Enseñar Química* (Loughran et al., 2000).

Por consiguiente, dentro de la comunidad de investigadores de educación en ciencias (en este caso específico, la anglosajona) se ha dilucidado un consenso, el cual considera que el constructo del CPC puede ser un instrumento curricular útil durante los programas de educación de los profesores en formación y en ejercicio, dado que les brinda la oportunidad de diferenciar e integrar de manera progresiva los aspectos pertinentes de la ciencia y la educación en ciencias a partir de situaciones reales de enseñanza.

En este sentido, las tareas centrales de estos programas de educación en ciencias fundados en el CPC de maestros experimentados y ejemplares de una disciplina específica y direccionados por una perspectiva de «orientación reflexiva», le brindarán las oportunidades tanto a los profesores en formación como en ejercicio de poner en interacción sinérgica los conocimientos, creencias y valores sobre la enseñanza que estos han construido desde diversos ámbitos: reflexionando sobre las prácticas ejemplares llevadas a cabo por otros profesores, reflexionando sobre lo que dicen los investigadores

acerca de la educación en ciencias, reflexionando sobre él mismo como aprendiz de ciencias a través de prácticas experimentales y reflexionado sobre su propia enseñanza vía el campo de la experiencia.

De hecho, este tipo de actividades juegan un papel clave a lo largo del programa de educación, pensado para permitir a los enseñantes matriculados en él, diferenciar, integrar e internalizar los elementos pertinentes del CPC, así como permitirles desarrollar un saber práctico para la enseñanza ejemplar de los diferentes tópicos del currículo de las ciencias naturales coherente con los marcos teóricos de las actuales reformas en la educación en ciencias.

Ahora bien, la mayoría de las investigaciones acerca de la educación del profesor se han focalizado en tratar de cambiar el sistema de conocimiento, creencias y valores acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias con las que llega el enseñante a los programas de educación, no obstante, las metas establecidas por estos programas no han podido ser alcanzadas, de hecho, algunos estudiantes-profesores cambian sus teorías personales, en tanto que otros no lo logran (Oosterheert & Vermunt, 2003). En este sentido, se considera que las experiencias que ha tenido el estudiante-profesor a lo largo de su socialización y transformación como individuo durante los diferentes niveles de educación (primaria, secundaria y terciaria) juegan un papel clave en el proceso formativo del mismo en aprendiendo a enseñar ciencias (Lortie, 1975).

Con base en lo anterior, la comunidad de investigadores en educación en ciencias considera necesario que los formadores de formadores diseñen programas de preparación, inducción y desarrollo profesional en donde se generen ambientes de aprendizaje que le brinden al profesor la oportunidad de que su sistema de conocimientos, creencias y valores sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje, evolucione de manera continua y progresiva hacia unos marcos más coherentes con una perspectiva constructivista social (Feiman-Nemser, 2001). Efectivamente, los educadores de los profesores de ciencias son los responsables de la modelación de las creencias, valores y asunciones relacionados con la enseñanza y el aprendizaje de estas disciplinas con los que llega el estudiante-profesor a los programas de educación; en ello radica la importancia de que los pensamientos, juicios y acciones de los educadores que orientan los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias tengan congruencia con los marcos filosóficos constructivistas sociales (Abell & Bryan, 1997).

En este sentido, consideramos que los programas de formación, inducción y desarrollo profesional del profesor de ciencias deberían estar fundados sobre la base de una perspectiva por «orientación reflexiva», dado que

esta se focaliza en la creencia de que aprender a enseñar ciencias es semejante a aprender ciencias por sí mismo, de hecho, es un proceso en el cual el estudiante-profesor, a través de la orientación del educador, reevalúa y reformula sus teorías personales a la luz de una evidencia perturbadora. Por consiguiente, la «orientación por reflexión» genera oportunidades para que los profesores en formación y en ejercicio expliciten sus ideas, creencias y valores acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, adicionalmente, les brinda la oportunidad de llevar a cabo «experiencias prácticas», las cuales les facilita comenzar a clarificar y enfrentar su teorías personales de origen, y así lograr que estas ideas evolucionen progresivamente (Abell & Bryan, 1997).

En concordancia con lo anterior, Abell y Bryan (1997) sostienen que un programa de educación de profesores de ciencias fundamentado desde una perspectiva de «orientación reflexiva», posee una estructura lógica en donde el estudiante-profesor tiene la posibilidad de aprender a enseñar ciencias a partir del desarrollo de un currículo constituido desde cuatro ámbitos, a saber: reflexionando acerca de la enseñanza impartida por profesores experimentados y ejemplares, disponible a través de los videos de estudios de casos; reflexionando sobre su propia enseñanza, desde sus prácticas educativas; reflexionando sobre las opiniones de los expertos acerca de la enseñanza, recogidas en las lecturas propuestas en los programas de formación, y reflexionando sobre sí mismo como aprendiz de ciencias, a través de actividades científicas (ver Figura 5.1).

En efecto, los cuatro contextos del programa de educación hacen parte de un sistema iterativo, que suministra una oportunidad singular para que los estudiantes-profesores reflexionen sobre las diferentes fases del ciclo instruccional de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, es decir, estos contextos hacen parte de un todo entretejido, en donde cada uno de ellos genera oportunidades para ayudar a los profesores inscritos en estos programas a alcanzar un estado de reflexión durante el ciclo instruccional.

En consecuencia, tomando como punto de referencia las anteriores asunciones, consideramos que los instrumentos epistémicos de la CoRe y los PaP-eRs pueden cumplir un papel clave dentro de los programas de educación cuyo marco teórico esté fundado desde una perspectiva de «orientación por reflexión» (ver Figura 5.1), dado que estos programas ofrecerían las oportunidades que le permitirían al estudiante-profesor identificar y desarrollar su CPC de la química. En otras palabras, estos instrumentos metodológicos podrían ser utilizados por los educadores de profesores como herramientas y materiales curriculares a lo largo de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química, ya que podrían brindarle a los

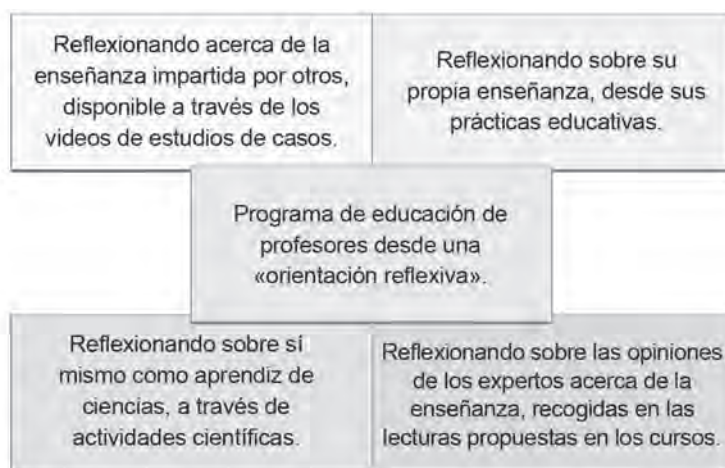


Figura 5.1 Cuatro contextos de reflexión que constituyen la estructura lógica de un programa de educación para aprender a enseñar ciencias

Fuente: Abell & Bryan, 1997.

futuros profesores experiencias de enseñanza controladas que influirían en la evolución progresiva de su CPC de dicha disciplina.

Ahora bien, en la siguiente sección de este documento se describe la manera en que se pueden implementar la CoRe y los PaP-eRs como mediadores educativos dentro de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química. De hecho, el uso de estos instrumentos hará que los estudiantes-profesores reflexionen y problematicen sus teorías personales acerca de la enseñanza de esta disciplina, en cuatro dimensiones diferentes, pero entrelazadas.

REFLEXIONANDO ACERCA DE LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA IMPARTIDA POR PROFESORES EXPERIMENTADOS Y EJEMPLARES

Vale la pena decir que el grupo de investigación de Abell et al. (1996) ha sido uno de los pioneros en el diseño, la aplicación y la evaluación de instrumentos curriculares para los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias; en efecto, han estudiado profesores ejemplares a través de estudios de caso en los cuales implementaron diversos recursos, como entrevistas, observación participante, técnica de estímulo del recuerdo, que permitieron registrar tanto en video como en audio los pensamientos, las tomas de decisiones, los juicios y las acciones inteligentes de estos durante el ciclo instruccional de un tópico específico. Fruto del trabajo de este colectivo lo constituye una serie de videos de diferentes lecciones del currículo de las ciencias en donde

se recoge la práctica ejemplar de un enseñante junto con su reflexión acerca de los resultados de lo planeado y lo enseñando; este material curricular fue utilizado por Abell et al. (1996) durante los programas de educación de los estudiantes-profesores para aprender a enseñar ciencias.

En este sentido, también el equipo de Loughran et al. (2000) diseñó, implementó y evaluó la CoRe y los PaP-eRs, instrumentos metodológicos que fundamentaron en el marco teórico de los estudios de caso. De hecho, estos instrumentos permiten capturar, documentar y representar los pensamientos, juicios, decisiones y acciones inteligentes de un profesor experimentado y ejemplar durante el ciclo instruccional, a través de un conjunto de proposiciones con sentido y retratos narrativos verosímiles.

Por lo anterior, consideramos que estos instrumentos metodológicos podrían tener funciones análogas a las de los videos de casos del grupo de Abell et al. (1996), dentro de las cuatro dimensiones del programa de educación por «orientación reflexiva»; por tanto, la lectura vicaria y reflexiva realizada por el futuro profesor tanto a la CoRe como a los PaP-eRs, generaría las mismas tensiones en las mentes de los estudiantes-profesores, que quizás producen observaciones en torno a los videos de casos de profesores ejemplares, posibilitando que las teorías personales de los candidatos a enseñantes evolucionen progresivamente hacia un sistema de conocimientos y creencias de un mayor estatus epistemológico.

Asimismo, cada uno de los PaP-eRs generados a través del estudio de caso de un profesor de química experimentado y «ejemplar», tienen el potencial de crear un mundo virtual en el que los estudiantes-profesores pueden experimentar y reflexionar sobre los problemas de la enseñanza y el aprendizaje de un tópico específico de la disciplina en cuestión (Schön, 1998). Vale la pena aclarar que el profesor experimentado debería poseer una perspectiva del aprendiz y del aprendizaje de corte constructivista social, adicionalmente, sería deseable que a lo largo del ciclo instruccional manifestase una orientación hacia la enseñanza de la ciencia conforme con los marcos teóricos producto de los esfuerzos de las actuales reformas del currículo de la ciencias.

Con todo, bien puede afirmarse que la CoRe y los PaP-eRs producidos durante el estudio de caso instrumental, podrían ser usados a lo largo de los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química con la intención deliberada de suministrar a los estudiantes-profesores un «campo de experiencia controlado» con un profesor experimentado y «ejemplar». Ahora bien, en este tipo de instrumentos cognitivos se representa de forma propositiva y narrativa tanto el sistema de conocimientos y creencias del profesor como las acciones inteligentes que llevó a cabo durante el ciclo de instrucción de

la lección en cuestión; esto los convierte en instrumentos que le permitirán a los educadores de profesores generar oportunidades para que los futuros enseñantes de química, a través de una orientación por reflexión, puedan hacer que sus teorías personales acerca de la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina evolucionen de manera progresiva hacia unas teorías más acordes con los marcos propuestos por los especialistas.

Por consiguiente, se sugiere que los educadores de profesores que orientan los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química o de práctica docente en las diferentes universidades del contexto nacional, estructuren el correspondiente currículo a partir de una perspectiva por «orientación reflexiva», la cual integra las cuatro dimensiones claves propuestas por Abell y Bryan (1997), a saber: reflexionando acerca de la enseñanza llevada a cabo por profesores ejemplar esa través de la CoRe y los PaP-eRs; reflexionando sobre su propia enseñanza desde de sus prácticas educativas; reflexionando sobre sí mismo como aprendiz de ciencias por intermedio de actividades científicas, y reflexionando sobre las opiniones de los expertos acerca de la enseñanza, recogidas en las lecturas propuestas en los cursos.

De ahí que la tarea central de reflexionar a partir del contenido de la CoRe y los relatos narrativos de los PaP-eRs, que capturan, documentan y representan la planeación, la enseñanza y la reflexión llevadas a cabo por un profesor ejemplar, tiene el potencial de crear un mundo virtual en el que los estudiantes-profesores pueden experimentar y deliberar sobre los problemas de la enseñanza y el aprendizaje de los tópicos del currículo de la química.

Ha de destacarse que la lectura «entre líneas» de los instrumentos de la CoRe y los PaP-eRs, realizada en el aula en pequeños grupos de discusión y de forma interactiva con toda la clase, le permiten a los estudiantes-profesores reflexionar sobre los aspectos que constituyen la base del conocimiento para la enseñanza de la química que posee un profesor experimentado y ejemplar, para posteriormente compararlos con sus teorías personales acerca de la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina. Así, por medio de estos instrumentos los profesores en formación podrán reflexionar sobre aspectos tales como el conocimiento del contenido de la química; las dificultades/limitaciones y concepciones alternativas con las llegan los aprendices al aula; el currículo horizontal y vertical de la química; las estructuras de administración de la clase; el tiempo de espera o reflexión; los objetivos y propósitos que alcanzarán los estudiantes respecto a los tópicos en cuestión; la forma en que los estudiantes aprenden esta disciplina; las estrategias instruccionales para ayudar a los estudiantes a superar las dificultades; las mejores representaciones y formulaciones de los tópicos de la química (analogías, metáforas, laboratorios, demostracio-

nes, explicaciones, etc.); de esta manera, esta clase de actividad suministra las oportunidades para que los estudiantes-profesores construyan y refinan sus teorías personales sobre la enseñanza de dicha disciplina en un contexto significativo (Candela, 2012).

En definitiva, la idea central es que la CoRe y los PaP-eRs se presentan como materiales curriculares que bien podrían jugar un papel clave, al permitir que las teorías personales que traen los estudiantes-profesores a los cursos de Aprendiendo a Enseñar Química sean problematizadas, situación que quizás les ayudaría en la construcción de marcos alternativos inteligibles, plausibles y útiles para la enseñanza y el aprendizaje de los tópicos del currículo de la química. Adicionalmente, esta estrategia de los programas de educación, permite que los futuros profesores logren una mayor clarificación, al instarlos a enfrentar y revisar sus ideas personales, creencias y valores acerca del aprendizaje de los contenidos de la disciplina en cuestión.

Ahora bien, durante una de las sesiones del programa de educación, los estudiantes-profesores pueden leer el contenido de un PaP-eR; para ello, deberían de utilizar un instrumento que oriente esta tarea, como lo es la «hoja de reflexión de lectura» (ver Anexo 3), en la que se encuentran una serie de preguntas que inducen al futuro profesor a abordar el documento en cuestión en tres etapas, a saber: la previa a la lectura, la de la lectura en sí y la posterior a esta⁴. Ahora bien, este tipo de actividad de enseñanza debe llevarse a cabo de diversas maneras: en pequeños grupos de discusión, con la intervención simultánea de toda la clase y a través del trabajo individual (Tobin, abril, 1985), permitiendo que los miembros del colectivo áulico negocien significados y formas de significar, esto les permitirá llegar a consensos sobre: el conocimiento del contenido de la materia; el conocimiento del aprendiz; el conocimiento pedagógico del contenido; el conocimiento de la pedagogía general y el conocimiento del contexto de enseñanza.

REFLEXIONANDO SOBRE SÍ MISMO COMO APRENDIZ DE CIENCIAS VÍA ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

En esta dimensión los estudiantes-profesores piensan, hacen, hablan y escriben acerca de los tópicos que constituyen el currículo de la disciplina en cuestión dentro del curso de Aprendiendo a Enseñar Química; para ello,

⁴ Abell (1992) diseñó este instrumento cognitivo («hoja de reflexión de lectura») que tiene como propósito el ayudar al estudiante-profesor a orientar la lectura de los artículos en las tres fases mencionadas, de hecho, durante su investigación encontró que dicho instrumento le permitió a los futuros profesores realizar una lectura comprensiva de dichos documentos.

evalúan su comprensión de los respectivos tópicos y su experiencia como aprendices de esta asignatura, lo cual les permite darle sentido a sus teorías personales sobre la enseñanza y el aprendizaje de esta materia. Por ejemplo, antes de comenzar a leer el PaP-eR denominado, «Explicando los espacios vacíos entre las partículas a través del fenómeno de la disolución de sustancias»⁵, los estudiantes-profesores deberían desarrollar, desde su posición como aprendices de ciencias, una secuencia de enseñanza-aprendizaje rotulada: «Explicando las disoluciones». La tarea en este período de estudio del tema en consideración consiste en que los candidatos a profesores intenten construir modelos teóricos y generar explicaciones que les permitan darle sentido a la gran idea del espacio vacío entre las partículas, que se encuentra secuenciada y temporalizada en la CoRe en cuestión.

Adicionalmente, los futuros profesores podrían reflexionar sobre su propio aprendizaje y cómo influye este en la futura planeación y enseñanza de los tópicos del currículo de la química. De hecho, esta clase de tareas, administradas a partir de unas estructuras de pequeños grupos de discusión e interactivas, les permitiría a los futuros profesores explicitar sus múltiples concepciones alternativas de la idea en cuestión; además, de una manera progresiva, ellos lograrían hacer que estas evolucionen hacia unas más sistemáticas. Por tanto, esta clase de actividad de enseñanza de los programas de educación en química le facilitaría al estudiante-profesor el desarrollo de la categoría del conocimiento del contenido de la materia (Abell & Bryan, 1997).

REFLEXIONANDO SOBRE LAS OPINIONES DE LOS EXPERTOS ACERCA DE LA ENSEÑANZA A TRAVÉS DE LA LECTURA DE LOS ARTÍCULOS PROPUESTOS

Esta dimensión de reflexión se apoya en la extensa bibliografía existente sobre investigaciones y experiencias; incorpora la lectura de los libros y artículos que recogen los estudios acerca de aprender a enseñar química, así como el acercamiento a los centros de formación en donde los estudiantes-profesores pueden actualizarse, debatir y reflexionar sobre este tipo de conocimientos. Ahora bien, en el marco de un programa de formación, esta tarea se puede llevar a cabo a través de un instrumento de análisis conocido como «hoja de reflexión de lectura» (ver Anexos 3 y 3A), la cual contendría un conjunto de interrogantes a abordar en tres

⁵ Este documento hace parte de una serie de cinco PaP-eRs generados a lo largo del estudio de nombre «La captura, la documentación y la representación del CPC de un profesor experimentado y “ejemplar” acerca del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia» (Candela, 2012).

momentos –o fases–, a saber: antes de leer, durante la lectura y después de leer. Así pues, los interrogantes iniciales activarían el conocimiento previo con el que llegan los estudiantes-profesores al programa y suministrarían un propósito para la lectura, mientras que las preguntas finales harían que los futuros profesores asocien los elementos claves del contenido del artículo leído con su conocimiento previo, colocándolos frente a la necesidad de comparar las ideas del texto con los conceptos que han ido construyendo a lo largo de su formación como futuros profesores de química (Abell, 1992).

Esta estrategia de lectura les permitiría a los estudiantes-profesores pensar en torno a lo que ellos leen y cómo esto se relaciona tanto con sus teorías personales como con las otras representaciones que hacen parte de las experiencias del curso de Aprendiendo a Enseñar Química. De esta forma, los autores de los artículos sobre educación en química no serían vistos como las únicas autoridades en el campo de la enseñanza-aprendizaje de esta materia, sino que sus aportes serían reconocidos como fuentes de evidencias que permitan reevaluar y reformular las teorías personales (Abell & Bryan, 1997).

Por ejemplo, mientras que los estudiantes-profesores exploran la dimensión de reflexión sobre sí mismo como aprendiz, concentrándose en temas concretos referentes a la enseñanza del currículo de la química, al tiempo que deliberan sobre los mismos aspectos a través de la lectura del PaP-eR denominado «Una base de conocimiento para la enseñanza del núcleo de la discontinuidad de la materia», podrían también estar leyendo un artículo correlacionado, como el de «Los núcleos y esquemas conceptuales, factores relevantes para el aprendizaje de la química». Desde luego, la articulación de estas diferentes tareas les permitiría a los futuros profesores comparar, diferenciar e integrar las ideas recogidas en las actividades de enseñanza del curso en cuestión; de esta forma se generaría una oportunidad para que el sistema de conocimiento, creencias y valores de los futuros profesores evolucione de manera progresiva hacia un marco teórico coherente con los esfuerzos de la reforma en educación en ciencias.

REFLEXIONANDO SOBRE SU PROPIA ENSEÑANZA DESDE SUS PRÁCTICAS EDUCATIVAS

Se considera que la tarea del programa de educación recogida en esta dimensión, junto con el análisis crítico que realice el estudiante-profesor a la CoRe y los PaP-eRs, le ofrecen a este la oportunidad de poder interactuar con sus compañeros del curso de Aprendiendo a Enseñar Química, así como

con sus estudiantes de la práctica docente; actividades que, a su vez, le permitirán comenzar a identificar y desarrollar su CPC durante la enseñanza de los tópicos del currículo de la química (Abell & Bryan, 1997).

Debe tenerse en cuenta que las experiencias de enseñanza del estudiante-profesor en aulas reales con educandos de carne y hueso, deberían estar apoyadas y fundamentadas por unas relaciones claves entre los profesores supervisores de los cursos de práctica docente y los maestros cooperadores de las instituciones educativas, con el propósito de brindarle al futuro profesor la asistencia necesaria para que este construya un sistema de conocimientos, creencias, habilidades y valores que le permita ofrecer una enseñanza tal que sea fundamentalmente diferente a la que él recibió a lo largo de su escolaridad (Borko & Mayfield, 1995).

En este sentido, consideramos que, en lo correspondiente al diseño y la implementación del currículo de los cursos de *Aprendiendo a Enseñar Química*, los esfuerzos de las reformas actuales referidas a la educación del profesor deberían tomar en cuenta al sistema de conocimientos, creencias y valores relacionados con la enseñanza y aprendizaje de los tópicos de dicha disciplina con el cual llega el estudiante-profesor a los programas de educación, dado que las teorías personales pueden asumir una función dual, es decir, sirven como filtros que pueden favorecer los cambios o como elementos que obstaculizan la evolución progresiva del sistema de conocimientos y creencias (Borko & Mayfield, 1995).

De ahí que, para facilitar los cambios progresivos de las teorías personales que traen los estudiantes-profesores a los cursos de *Aprendiendo a Enseñar Química*, los profesores supervisores y cooperadores deban vincularse activa y reflexivamente a los procesos de práctica docente, a través de una serie de discusiones que deben tener lugar antes y después de que el estudiante haya planeado y enseñado un tópico del currículo de la química (Feiman-Nemser, 2001); esto, con la intención deliberada de problematizar los pensamientos, juicios y acciones llevadas a cabo por los futuros profesores durante el ciclo instruccional que hace parte de la práctica docente.

Adicionalmente, los profesores supervisores y cooperativos deberían de suministrar las oportunidades y el apoyo necesarios para que los futuros profesores exploren y desarrollen su base de conocimiento para la enseñanza de la química, a partir de las ideas y creencias que estos han construido previamente desde la dimensión de reflexión sobre la práctica de enseñantes ejemplares, a través del estudio de la CoRe y los PaP-eRs en cuestión y deliberando sobre las opiniones de los expertos por medio de los artículos especializados.

De hecho, durante este tipo de actividad se les pediría a los estudiantes-profesores que implementen y evalúen, en lo posible, el conocimiento que

han construido en otros ámbitos del programa de educación, y lo transfieran al desarrollo del ciclo instruccional que hace parte de la experiencia de enseñanza en escenarios reales. Dado que los anteriores contextos de reflexión se encuentran entrettejidos, es posible pensar en torno al proceso de enseñanza y aprendizaje de la química de manera articulada; adicionalmente, este tipo de tarea les suministraría a los futuros profesores una retroalimentación sobre las lecciones que planearon y enseñaron, de tal forma que puedan identificar y desarrollar su CPC de la química. (Borko & Mayfield, 1995).

Otra tarea central que se les debería pedir a los estudiantes de magisterio durante la dimensión de reflexión sobre su propia práctica docente, es la de realizar escritos reflexivos sobre los aspectos del ciclo instruccional, con el propósito de que le den sentido a la labor de planeación y enseñanza que ellos mismos llevan a cabo e, igualmente, para que aprendan desde la experiencia. Por ejemplo, antes de poner en práctica la lección planeada a través de la CoRe, se les pediría que respondieran los siguientes interrogantes: ¿Cuáles son sus expectativas en relación a lo que sucederá a lo largo de la enseñanza del tópico específico? ¿Qué les ocurrirá a sus estudiantes durante la enseñanza de la lección en cuestión? ¿Cuáles son sus intereses y preocupaciones? Luego, de la enseñanza del tópico en consideración, se les solicitaría a los futuros profesores que describieran un episodio de la clase que haya sido significativo para ellos, adicionalmente, que relaten por qué escogieron ese episodio y no otro. Ahora bien, cuando la unidad de enseñanza haya finalizado, se les invitaría a los estudiantes-profesores a comparar sus expectativas e intereses iniciales con la experiencia que tuvieron en la práctica docente, concentrándose en ver si sus teorías personales acerca de la enseñanza-aprendizaje de la química han evolucionado (Abell & Bryan, 1997).

Finalmente, un elemento que juega un papel clave en todo ciclo instruccional es la planeación o diseño de una lección sobre un tópico particular del currículo de la química, de ahí que se haya considerado pertinente que los estudiantes-profesores conozcan y reflexionen sobre los aspectos del CPC que fueron capturados, documentados y representados a través del instrumento metodológico de la CoRe, que elabora y refina un profesor ejemplar a lo largo de la fase de planeación. En efecto, esta clase de actividad le brindaría a los futuros profesores la oportunidad para que ellos, a través de las discusiones colegiadas con sus profesores supervisores y cooperativos, problematicen sus teorías personales acerca del contenido de las categorías que constituyen su base de conocimiento para la enseñanza con teorías más inteligibles, plausibles y fructíferas que se encuentran adscritas en la toma de decisiones curriculares e instruccionales de la CoRe en cuestión (Candela, 2012).

Se debe resaltar que el profesor supervisor debe generar las estrategias apropiadas que induzcan a los estudiantes-profesores a encontrar los vínculos claves entre el contenido de los diferentes PaP-eRs y los elementos del CPC del tópico específico que se encuentran categorizados en la CoRe en forma de proposiciones, con el propósito de que ellos puedan realizar una articulación entre la teoría y la práctica, el pensamiento y la acción, como se afirmó en otra sección de este libro: los PaP-eRs se encuentran articulados con la CoRe con la intención de permitir correlacionar las acciones inteligentes del profesor ejemplar durante la clase con sus pensamientos, toma de decisiones, juicios y creencias sobre cómo y para qué enseñar un tópico específico a un grupo determinado de estudiantes.

Otra estrategia muy importante que puede ser implementada por los estudiantes-profesores para adelantar la reflexión de su propia práctica es la captura en video de su desempeño, para posteriormente visualizar, analizar y constatar las acciones inteligentes y los incidentes críticos que han tenido lugar durante la práctica docente. Por consiguiente, las articulaciones entre estos dos instrumentos metodológicos le posibilitarían al estudiante-profesor iluminar sus futuras tomas de decisiones curriculares e instruccionales durante la planeación de un tópico específico (Loughran et al., 2004).

LA INFLUENCIA DE LOS CURSOS DE APRENDIENDO A ENSEÑAR QUÍMICA EN LA FORMACIÓN DE LOS FUTUROS PROFESORES

Los formadores de educadores en ciencias han llegado a un acuerdo tácito, el cual hace referencia a que la formación de los profesores es un proceso análogo al que siguen los estudiantes de la escuela primaria y secundaria cuando construyen el conocimiento de las ciencias. Así, los primeros llegan a los programas de educación con unas teorías personales acerca de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, mientras que los últimos se enfrentan al aprendizaje de los tópicos del currículo de esta disciplina a partir de sus concepciones alternativas sobre los fenómenos naturales (Abell, Bryan & Anderson, 1998).

En este sentido, a pesar de que el aprender ciencias y el aprender a enseñar ciencias pertenecen a escenarios educativos diferentes, la intervención instruccional que se lleva a cabo en los dos espacios debe tener en cuenta elementos básicos tales como: explicitación de concepciones alternativas en los ámbitos pertinentes; generación de situaciones discrepantes que influyen en el estudiante la insatisfacción con algunas de sus ideas, y el diseño de actividades de aprendizaje que le brinden la oportunidad al aprendiz de construir representaciones inteligibles, plausibles y fructíferas. Por tanto, la

enseñanza en estos dos escenarios es considerada por la comunidad de educadores de ciencias como un proceso complejo, dado que las concepciones alternativas de los estudiantes y las teorías personales de los profesores en formación vienen configuradas por un sistema de conocimientos, creencias y valores bastante robusto.

A partir de estos presupuestos, Lortie (1975) afirma que el llegar a ser un profesor de ciencias conlleva un proceso que se da a lo largo de la vida del sujeto, de hecho, comienza aprendiendo a través de la observación durante los años de escolaridad, prosigue a lo largo de los programas de educación e inducción a la enseñanza y continúa a través de su carrera como profesor.

Ahora bien, para poder que los estudiantes de la escuela primaria y secundaria alcancen los propósitos y fines de la educación en ciencias acordados a nivel nacional y global⁶, los educadores de profesores deben comenzar a reestructurar los diferentes programas de formación, inducción y desarrollo profesional del profesor de ciencias que se ofrecen en las facultades de educación. Desde luego, la serie de tareas centrales de cada uno de estos programas ejercerán, quizás, una poderosa influencia en la evolución progresiva de las teorías personales con las que llegan los profesores de ciencias al curso de *Aprendiendo a Enseñar Química* (Feiman-Nemser, 2001).

En este sentido, los programas de formación de docentes en todos los niveles deben romper la hegemonía de la enseñanza teórica y propender por su conjunción con la enseñanza práctica en contextos reales, los cuales brindan las experiencias profesionales que posibilitan reflexionar sobre los elementos fundamentales de la profesión docente. Sin embargo, esto debe hacerse con base a experiencias exitosas y no frustrantes, para lo cual el análisis de documentos escritos y audiovisuales que evidencien el CPC de profesores exitosos resulta imprescindible; asimismo, se requiere una reestructuración de los contenidos que se abordan en la formación de los docentes de ciencias y también un cambio drástico en la forma en que estos se implementan en nuestros contextos escolares; por eso, se propone el realizarlo a través de una «orientación reflexiva».

Adicionalmente, los educadores de ciencias, responsables de orientar los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias, tienen la obligación moral de modelar el sistema de conocimientos, creencias y valores relacionados con la enseñanza y el aprendizaje con el que llegan los futuros profesores al programa de educación en cuestión. Para ello, sus acciones inteligentes de-

⁶ Los propósitos y fines de la educación en ciencias son elementos esenciales de los diferentes énfasis curriculares, los cuales han venido direccionando en varios países las reformas actuales en el currículo de ciencias.

ben concordar con los marcos filosóficos del constructivismo sociocultural, los cuales han venido fundamentando las actuales reformas curriculares en ciencias llevadas a cabo en diferentes países del hemisferio.

Las anteriores representaciones le permitieron a Abell, Bryan & Anderson (1998) comenzar a considerar que la estructura curricular de los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias debería de estar fundamentada por el marco teórico de una «orientación reflexiva». Desde luego, esta especie de orientación le brinda la posibilidad al futuro profesor de comenzar a reevaluar y reformular sus teorías personales acerca de la enseñanza y el aprendizaje a la luz de una evidencia perturbadora (Lanier & Little, 1986; Pajares, 1992). En este sentido, los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias, cuyo marco es de «orientación reflexiva», se caracterizan porque en ellos se le pide a los estudiantes-profesores que describan sus ideas, creencias y valores acerca de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Adicionalmente, estos brindan experiencias que les facilitan comenzar a clarificar, enfrentar y posibilitar la evolución de sus teorías personales.

Por lo general, los futuros profesores de ciencias deben ser enfrentados en muchas oportunidades a la investigación y reflexión crítica en torno a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. De ahí que los cursos de metodología fundados en una «orientación reflexiva» entran a jugar un papel clave en la formación de los futuros profesores de ciencias. De hecho, en estos, ellos pueden aprender acerca de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, así como también adquirir experiencia de enseñanza dentro de los cuatro contextos de reflexión que configuran la estructura curricular del curso en cuestión.

La estructura curricular de los cursos de aprendiendo a enseñar ciencias desde una perspectiva de «orientación reflexiva», le brinda la oportunidad a los futuros profesores de llevar a cabo una reflexión sobre sus teorías personales acerca de la enseñanza y el aprendizaje. Naturalmente, las tareas centrales que catalizan el proceso de reflexión están mediadas por instrumentos curriculares tales como: literatura basada en la investigación; videos de casos; CoRe y PaP-eRs de profesores ejemplares, y prácticas experimentales.

En este sentido, los videos de caso, la CoRe y los PaP-eRs de profesores experimentados y ejemplares tienen el potencial de crear un mundo virtual en el que los futuros profesores, pueden experimentar y reflexionar sobre los problemas de la planeación e instrucción de una lección de ciencias. De hecho, estos instrumentos curriculares los asisten a ellos para comenzar a identificar y desarrollar el CPC de las ciencias, dado que, en el cuerpo de conocimientos que estos contienen están encarnados los elementos claves del CPC, a saber: conocimiento del contenido, propósitos de enseñanza,

concepciones alternativas del tópico en cuestión, dificultades/limitaciones para la enseñanza del contenido, formulaciones y representaciones del contenido, estrategias instruccionales y de evaluación.

Los anteriores materiales curriculares que están apoyando el desarrollo del programa de educación en ciencias por «orientación reflexiva», suministran estrategias y modelos de enseñanza de las ciencias contenidos en la actual literatura de la educación en ciencias. Así, los profesores preservicio tienen la oportunidad de ver el papel clave que juegan las teorías del aprendizaje de perspectiva constructivista dentro de contextos reales de clase y, de igual manera, leer y escuchar a los estudiantes luchando con sus concepciones alternativas. Adicionalmente, estos mediadores curriculares propician situaciones para reflexionar y discutir sobre temas de la enseñanza de las ciencias. Se concluye que a través de estos campos de «experiencias» los futuros profesores pueden construir y refinar sus teorías de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en un contexto significativo.

Para finalizar, actualmente se vienen adelantando experiencias formativas en cursos de pregrado que nos ayuden a comprender la manera en que los profesores preservicio le dan sentido a la enseñanza de las ciencias usando los videos de casos, la CoRe y los PaP-eRs de profesores experimentados y ejemplares. Adicionalmente, se examinaría cómo estos instrumentos curriculares pueden facilitar la reflexión tanto en la acción como después de esta, aumentando el interés en comparar el uso de estos mediadores en la estructura interactiva, en pequeños grupos de discusión o en estructura individual.

ANEXOS

ANEXO 1. TABLAS DE MAGNUSSON ET AL. (1999) ACERCA DE LAS ORIENTACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIAS

Tabla 1. Las metas de diferentes orientaciones hacia la enseñanza de la ciencia⁷

Orientación	Metas de la enseñanza de la ciencia
Procesos.	Ayuda a los estudiantes a desarrollar procesos de habilidades científicas (ej., SAPA)
Rigor Académico (Lantz & Kass, 1987) .	Representar un cuerpo particular de conocimiento (ej., Química)
Didáctica	Transmite los hechos de la ciencia
Cambio conceptual (Roth, Anderson & Smit, 1987).	Facilita el desarrollo del conocimiento científico a través del enfrentamiento de los estudiantes a contextos problemáticos, donde deben superar sus concepciones ingenuas.
Actividad conducida (Anderson & Smith, 1987).	Se centra en la actividad de los estudiantes a través de la experimentación.
Descubrimiento (Karplus, 1993).	Suministra oportunidades a los estudiantes para que ellos puedan descubrir los conceptos científicos.
Proyecto basado en la ciencia (Ruopp et al., 1993; Marx et al., 1994).	Involucra a los estudiantes en la investigación de la solución de auténticos problemas.
Investigación (Tarnir, 1995).	Representa la ciencia como una investigación.
Investigación orientada (Magnusson & Palinesar, 1985).	Constituye una comunidad de aprendices, quienes como miembros comparten responsabilidades para comprender el mundo físico, particularmente con respecto al uso de las herramientas de la ciencia.

⁷ Estas tablas fueron tomadas y traducidas del documento «Naturaleza, fuentes y desarrollo del conocimiento pedagógico del contenido para la enseñanza de la ciencia» (Magnusson, et al., 1999, pp. 100-101).

Tabla 2. La naturaleza de la instrucción asociada con diferentes orientaciones para la enseñanza de la ciencia

Orientación	Características de instrucción
Procesos	El profesor introduce a los estudiantes en los procesos de pensamiento empleados por los científicos para adquirir un nuevo conocimiento. Los estudiantes se comprometen en actividades para desarrollar procesos de pensamiento e integran las habilidades de pensamiento.
Rigor académico	Los estudiantes son enfrentados a actividades y problemas de dificultad. Los trabajos de laboratorio y las demostraciones son usados para verificar los conceptos de ciencia, por la demostración de la relación entre el concepto particular y el fenómeno.
Didáctica	El profesor presenta la información, generalmente, a través de explicación o discusión, y formula preguntas directas a los estudiantes, buscando que ellos las solucionen conociendo los hechos dilucidados por la ciencia.
Cambio conceptual	Los estudiantes son forzados a explicitar sus visiones acerca del mundo y a considerar las explicaciones alternativas más idóneas. El profesor facilita la discusión y el debate necesario para establecer la validez de las afirmaciones basadas en el conocimiento acumulado.
Actividad conducida	Los estudiantes participan en una serie de actividades diseñadas para verificar o descubrir. La selección de las actividades puede no ser conceptualmente coherente si los profesores no comprenden sus propósitos particulares; como consecuencia, omite o modifica inapropiadamente aspectos críticos de ellas.
Descubrimiento	Centrada en el estudiante. Los estudiantes exploran el mundo natural, siguiendo sus propios intereses y descubriendo modelos de cómo trabaja el mundo durante sus exploraciones.
Proyecto basado en ciencias	Centrado en el proyecto. La actividad centrada en el profesor y el estudiante conducida a través de interrogantes que organizan conceptos y principios en torno al estudio de un tópico. A través de la investigación, los estudiantes desarrollan una serie de instrumentos (productos) que reflejan su nivel de comprensión.
Investigación	Centrado en la investigación. El profesor asiste al estudiante en la definición e investigación de los problemas, representando conclusiones y evaluando la validez del conocimiento desde las conclusiones planteadas por el alumno.
Investigación orientada	Centrada en una comunidad de aprendizaje. El profesor y los estudiantes participan en la definición e investigación de los problemas, determinan modelos, formulando y probando explicaciones, y evaluando la utilidad y validez de sus datos y la idoneidad de sus conclusiones. El profesor guiará el esfuerzo de los estudiantes en el uso de las herramientas intelectuales de la ciencia, con la intención de capacitar a los estudiantes para que las puedan usar por su propia cuenta en un futuro.

ANEXO 2. ESTRUCTURA LÓGICA DEL INSTRUMENTO DE LA CoRe

Universidad del Valle
 Instituto de Educación y Pedagogía
 Maestría en Educación
 (Énfasis en Enseñanza de la Ciencia)
 Base para la entrevista

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

Para cada una de estas ideas responda las siguientes preguntas:

Ideas/conceptos importantes en ciencias

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

ANEXO 3. HOJA DE REFLEXIÓN DE LECTURA DEL PaP-eR n.º 3

Universidad del Valle
Instituto de Educación y Pedagogía
Educación en Ciencias Naturales
Hoja de reflexión de lectura

Mg. Boris Fernando Candela

Nombre: _____ Fecha: _____

Lectura: _____

Antes de leer

Interrogantes a considerar antes de la lectura:

- ¿Cuál es su visión de sí mismo como profesor de química de secundaria?
- Describa una experiencia de aprendizaje de la química que haya sido significativa en su formación secundaria y/o universitaria.
- ¿Qué experiencias relacionadas con el aprendizaje de la química ha tenido por fuera de la escuela secundaria? ¿Por qué seleccionó estas experiencias para describirlas?

Después de haber reflexionado sobre estas experiencias, ¿cuáles de estas consideras han ejercido una gran influencia sobre su visión de profesor de química en la escuela secundaria? Explique.

Durante la lectura

Responder de manera comprensiva los anteriores interrogantes; para ello, puede utilizar los siguientes instrumentos cognitivos: resumen, diagrama, mapa conceptual, etc.

Asimismo, señale cuál de los de los aspectos del CPC que usted identificó en el PaP-eR n.º 3 considera que debe ser clarificado durante la clase a través de una discusión colegiada.

Después de la lectura

Responda:

- ¿Qué elemento del CPC del profesor Santiago recuerda usted mejor de la lectura sobre el PaP-eR n.º 3 y por qué?
- ¿Qué conexiones usted ha encontrado entre sus propias experiencias como aprendiz y profesor de química, y las que pudo evidenciar en el PaP-eR n.º 3?

- ¿Por qué piensa que el profesor decidió enseñar la lección de la manera en que lo hizo?

Compare las principales ideas que desarrolla la lectura con los conceptos claves que usted ha construido en cursos como los disciplinarios, de aprendiendo a enseñar ciencias, de fundamentos educativos y psicología educativa a lo largo de su preparación universitaria. ¿Será que sus teorías personales referentes al tema abordado en la lectura del PaP-eR n.º 3 han evolucionado de manera progresiva? Explique.

**ANEXO 3A. HOJA DE REFLEXIÓN DE LECTURA «EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS:
UNA TRANSACCIÓN DE SIGNIFICADOS Y FORMAS DE SIGNIFICAR»**

Universidad del Valle
Instituto de Educación y Pedagogía
Educación en Ciencias Naturales
Hoja de reflexión de lectura

Mg. Boris Fernando Candela

Nombre: _____ Fecha: _____

Lectura: _____

Antes de leer

Interrogantes a considerar antes de la lectura:

- ¿De acuerdo al título del documento, cuál podría ser la naturaleza de la ciencia?
- Establezca una relación entre la actividad de la ciencia y el proceso de enseñanza y aprendizaje de los tópicos del currículum de la química.
- ¿Cuáles son las fortalezas y debilidades de cada una de las estructuras de organización de la clase?
- ¿Qué significa para ustedes la siguiente proposición: «negociar significados y formas de significar»?
- ¿Cómo articularía la reflexión del siguiente párrafo con la enseñanza y aprendizaje de la química?:

Enseñar ciencias es enseñar a los alumnos cómo hacer ciencias. Enseñar, aprender y hacer ciencias, todos ellos son procesos sociales: enseñados, aprendidos y hechos como miembros de comunidades sociales grandes y pequeñas (como las aulas). Conformamos dichas comunidades por medio de la comunicación, y comunicamos significados complejos principalmente

a través del lenguaje. Finalmente, el hacer ciencia siempre está guiado e informado por el hablar ciencia a nosotros mismos y con otros (Lemke, 1997. p. 13).

- ¿Cuáles son las características fundamentales de un ambiente de aprendizaje por coparticipación?
- Cuando representa un tópico del currículum de la química a través de una práctica de laboratorio, ¿qué metas plantearía usted, como profesor, para que sean alcanzadas por sus estudiantes?
- ¿Qué opinión tiene acerca de los textos escolares como mediadores ejemplares en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química?

Durante la lectura

Responder de manera comprensiva los anteriores interrogantes; para ello, puede utilizar los siguientes instrumentos cognitivos: resumen, diagrama, mapa conceptual, etc.

Asimismo, señale:

- ¿Cuál sección del documento «El aprendizaje de las ciencias» le llama más la atención y por qué?
- ¿Cuál de los anteriores interrogantes considera que debe de ser clarificado durante la clase a través de la discusión colegiada?

Después de la lectura

Responda:

- ¿Qué elemento de la lectura usted recuerda y por qué?
- Compare las principales ideas que desarrolla la lectura con los principales conceptos que usted ya tenía acerca del tema tratado. ¿Será que sus conceptos referentes al tema abordado en la lectura han cambiado? Explique.

ANEXO 4. SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE «FABRICANDO MATERIALES»

Institución Educativa --
Jornada tarde sede central
Unidad didáctica y/o secuencias de
enseñanza-aprendizaje

Área/asignatura: Ciencias Naturales/Química.

Periodo: I

Grado: Décimo.

Docente facilitador: Lic. Santiago Mosquera.

Estándar: Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen.

Proyecto transversal: Competencias comunicativas lingüísticas.

Núcleo temático (tema): Discontinuidad de la materia.

Ejes temáticos (grandes ideas):

- **La existencia de las partículas⁸.**
- Movimiento intrínseco de las partículas.
- Fuerzas intermoleculares (desde una perspectiva cualitativa).
- Espacio vacío entre las partículas.
- **Estados de agregación.**
- **El arreglo de las partículas determinan las propiedades macroscópicas de la sustancia.**
- Cambio físico y cambio químico
- Curvas de calentamiento y enfriamiento.
- Diagramas de fase.

Esquemas de pensamiento de la química

1. Esquemas cualitativos:
 - a. Interacción.
 - b. Conservación.
 - c. Equilibrio.

⁸ Las tres ideas que se encuentran resaltadas serán el núcleo de desarrollo de esta actividad de enseñanza, sin embargo, los otros grandes tópicos también serán abordados, pero con una menor profundidad, ya que en las próximas secuencias de enseñanza-aprendizaje nuevamente serán abordados con una mayor complejidad.

2. Pensamiento multicausal.
3. Inversión de la línea de pensamiento.
4. Competencias lingüísticas: leer, hablar, escribir y comprender en el lenguaje de las ciencias naturales.

Metodología

- a. Lee la situación problematizadora en forma individual y, si es necesario, utiliza el diccionario para encontrar el significado de los términos desconocidos, de manera que puedas comprender enteramente el texto.
- b. Construye una hipótesis y exprésala por escrito.
- c. Socializa tus hipótesis ante el equipo de trabajo que hayas conformado (5 integrantes); además, escucha con atención y respecto las hipótesis de tus otros compañeros.
- d. A partir de todas las hipótesis socializadas en el equipo de trabajo, reconstruyan y construyan una hipótesis nueva producto del consenso colectivo, consígnenla en un mural.
- e. Escojan un compañero del equipo de trabajo para que socialice la hipótesis y la defienda ante el colectivo aula.
- f. En las horas de la tarde, después de terminar la clase, debes realizar un texto de tipo narrativo (diario de clase) en donde tú expreses los siguientes aspectos: ¿Qué aprendiste y por qué? ¿Qué no aprendiste y por qué? ¿Cómo te sentiste durante el acto educativo?; además, puedes incluir aspectos que no tienen que ver con el tema que estamos desarrollando, pero que, sin embargo, hacen parte de la vida del aula.
- g. El desarrollo de los conceptos de la química tendrán un formato constituido por los siguientes pasos: observación, predicción y experimentación.

Organizador previo

Fabricando materiales

Muchos de los materiales que se usan en la construcción, como el mármol, tienen su origen en los volcanes. En el interior de la tierra, donde hay altas temperaturas, muchos de los materiales se encuentran en estado gaseoso. A medida que los materiales ascienden por el volcán, la temperatura va disminuyendo, y finalmente, al salir la lava por el cráter del volcán, se enfría, constituyendo diferentes materiales, uno de ellos es precisamente el mármol. Un proceso inverso en el cual un sólido se convierte en líquido y luego gas es el producido por el descongelamiento del agua en los casquetes polares; el agua sólida proveniente de los polos se descongela lentamente y va a formar los mares y los ríos; el agua allí se evapora y hace que se

carguen las nubes, que vuelven a llevar el agua a los mares y a los ríos en estado líquido. En la industria de la construcción procesos parecidos al que ocurre con la lava para formar el mármol son utilizados para la fabricación de insumos tales como varillas de acero, que dan soporte a los puentes y a las bases de los edificios, y ladrillos, que sirven para levantar los muros.

1. Diseña un modelo para representar lo que ocurre con las partículas de agua y las que forman el mármol, desde que se encuentran en estado sólido hasta evaporarse, en el caso del agua, y para el proceso inverso, en el caso del mármol.
2. Realiza una comparación entre lo que sucede con el mármol y el proceso que se sigue para elaborar las varillas de hierro y los ladrillos.
3. Formula una explicación que dé cuenta de los factores que provocan los cambios de estado, basándote en las condiciones iniciales y finales en que se dan dichos cambios, como en el caso del agua y del mármol.
4. Reelabora tus explicaciones, utilizando los conceptos de presión, temperatura, distancia intermolecular, estado de agregación.
5. Si encuentras una relación entre los conceptos enunciados anteriormente, descríbela, utilizando símbolos a manera de fórmulas.
6. Enuncia otros casos donde se den este tipo de relaciones.

Evaluación

Las dimensiones del conocimiento que se serán objeto de evaluación a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje son las siguientes: conceptual, procedimental y actitudinal; vale destacar que las tres dimensiones tendrán el mismo valor dentro del proceso valorativo.

Durante el proceso de evaluación formativa, compararemos el estado de cognición inicial del estudiante con su estado final, después de haber participado activamente dentro la comunidad de aprendizaje, es decir, que no se realizará una comparación del estado cognitivo del sujeto con respecto al estado cognitivo del grupo, dado que consideraremos las características particulares del alumno, como estilo de aprendizaje, concepciones alternativas y ritmos de aprendizaje.

Ahora bien, el propósito de la evaluación formativa no es solamente la de conocer lo que saben y han aprendido los estudiantes, sino también su evolución desde un punto de partida, sus avances y dificultades, de tal forma que este conocimiento nos pueda servir para reorientar y organizar la impartición de la enseñanza, con la intención de que la mayoría de aprendices puedan acceder a los conocimientos básicos de la química.

Criterios de evaluación

- Conceptualizo las siguientes nociones: partículas, fuerzas intermoleculares, movimientos entre partículas y espacios intermoleculares.
- Describo y explico los siguientes tópicos: estados de agregación y cambio de fases, curvas de calentamiento y densidad.
- Establezco diferencias entre un modelo explicativo y descriptivo.
- Concientizo los modelos del sentido común, de acuerdo al tópico.
- Leo, escribo y hablo de la situación problema.
- Construyo modelos macroscópicos y microscópicos que permiten interpretar los fenómenos y hechos naturales.
- Interpreto textos de formato continuo y discontinuo.
- Produzco escritos sobre las vivencias en el aula, utilizando los tópicos específicos de las C. N., además de las reglas gramaticales.
- Diferencio los tres niveles de representación de la química (macro, micro y simbólico).
- Me intereso por fenómenos o hechos del mundo, de la vida.
- Asumo una actitud crítica y fundamentada.
- Asumo responsabilidades en las tareas del subgrupo y del colectivo aula.
- Asumo una actitud hacia la ciencia, como disciplina cuya dinámica está en constante evolución, y que, además, posee progresos, retrocesos y efectos positivos y negativos para la sociedad.
- Mejoro la autoimagen frente al aprendizaje de la química.

ANEXO 5. SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE «GUERRA QUÍMICA»

Institución Educativa --
Jornada tarde sede central
Unidad didáctica y/o secuencias de
enseñanza-aprendizaje

Área/asignatura: Ciencias Naturales/Química.

Periodo: I

Grado: Décimo.

Docente facilitador: Lic. Santiago Mosquera.

Estándar: Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen.

Proyecto transversal: Competencias comunicativas lingüísticas.

Núcleo temático (tema): Discontinuidad de la materia.

Ejes temáticos (grandes ideas):

- **La existencia de las partículas.**
- **Movimiento intrínseco de las partículas.**
- Fuerzas intermoleculares (desde una perspectiva cualitativa).
- Espacio vacío entre las partículas.
- Estados de agregación.
- El arreglo de las partículas determinan las propiedades macroscópicas de la sustancia.
- Cambio físico y cambio químico
- Curvas de calentamiento y enfriamiento.
- Diagramas de fase.

Esquemas de pensamiento de la química

1. Esquemas cualitativos:
 - a. Interacción.
 - b. Conservación.
 - c. Equilibrio.
2. Pensamiento múlticausal.
3. Inversión de la línea de pensamiento.
4. Competencias lingüísticas: Leer, hablar, escribir y comprender en el lenguaje de las ciencias naturales.

Organizador previo

Guerra química

En el año de 1915, en la primera guerra mundial, el ejército alemán lanzó sobre las tropas contra las que se enfrentaba, pequeñas bombas que contenían cloro gaseoso comprimido. Esto produjo inmediatamente el pánico entre las tropas británicas, ocasionando 15 000 heridos, de los cuales fallecieron 5000 soldados a raíz del ataque con el gas. Esta fue la primera vez que se utilizaron armas químicas en una guerra internacional.

Tareas problemas

1. ¿Por qué razón, si el gas estaba contenido en los pequeños recipientes, pudo alcanzar a 15 000 soldados?
2. ¿Qué medio utilizó el gas para transportarse?
3. Elabora un modelo que represente la manera en la que las partículas del gas, que inicialmente se encontraba comprimido, pudo llegar a

cada uno de los soldados, y cómo estas interaccionaron con las partículas de aire.

4. Reelabora tu modelo y tu respuesta utilizando los conceptos de difusión, compresibilidad y distancia intermolecular.
5. Trata de representar tus explicaciones utilizando símbolos a manera de fórmulas.

ANEXO 6. SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE «EXPLICANDO LOS ESTADOS DE LA MATERIA»

Institución Educativa --
Jornada tarde sede central
Unidad didáctica y/o secuencias de
enseñanza-aprendizaje

Área/asignatura: Ciencias Naturales/Química.

Periodo: I

Grado: Décimo.

Docente facilitador: Lic. Santiago Mosquera.

Estándar: Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen.

Proyecto transversal: Competencias comunicativas lingüísticas.

Núcleo temático (tema): Discontinuidad de la materia.

Ejes temáticos (grandes ideas):

- **La existencia de las partículas⁹.**
- **Movimiento intrínseco de las partículas.**
- Fuerzas intermoleculares (desde una perspectiva cualitativa).
- Espacio vacío entre las partículas.
- **Estados de agregación.**
- **El arreglo de las partículas determinan las propiedades macroscópicas de la sustancia.**
- Cambio físico y cambio químico
- Curvas de calentamiento y enfriamiento.
- Diagramas de fase.

⁹ Las tres ideas que se encuentran resaltadas serán el núcleo de desarrollo de esta actividad de enseñanza, sin embargo, los otros grandes tópicos también serán abordados, pero con una menor profundidad, ya que en las próximas secuencias de enseñanza-aprendizaje nuevamente serán abordados con una mayor complejidad.

Esquemas de pensamiento de la química

1. Esquemas cualitativos:
 - a. Interacción.
 - b. Conservación.
 - c. Equilibrio.
2. Pensamiento multicausal.
3. Competencias lingüísticas: leer, hablar, escribir y comprender en el lenguaje de las ciencias naturales.

Explicando los estados de la materia

Antes de llevar a cabo la siguiente práctica, debemos de tener en cuenta las siguientes precauciones.

Precauciones

- Usar un tubo de ensayo limpio para cada sustancia, calentar la soldadura en un crisol.
- Usar un tapón de lana mineral para el azufre.
- Usar protección para los ojos.
- Nunca apuntar con el tubo de ensayo hacia alguien.
- No acercarse demasiado a la soldadura de estaño, puede salpicar.
- Evitar que el azufre arda.

Actividad 1. Observación de la primera sustancia (ácido esteárico)

Pongan cristales de ácido esteárico en un tubo de ensayo resistente al calor hasta cubrir no más de tres centímetros de longitud del tubo. Tapen el tubo con un tapón de lana mineral, para impedir el escape de vapor. Asegúrense de observar la sustancia antes de comenzar a calentarla.

Durante el calentamiento de la sustancia, observen sus características. Después de haber hervido la sustancia, retírenla y dejen que se enfríe hasta que tenga una temperatura aproximada a la del ambiente, en seguida describan los atributos más notables de la sustancia en ese estado. Algunas de las palabras que pueden ayudar a describir lo observado son las siguientes: fusión, ebullición, congelación, gas, sólido, líquido, condensación y solidificación.

Actividad 2.

De la misma manera en que se hizo con el ácido esteárico, se deben describir las características (nivel de representación macroscópico) de la parafina, el yodo y el azufre; antes, durante y después de calentar cada una de estas sustancias. En cuanto a la soldadura de estaño, no olvidar de hacerle el mismo proceso, pero utilizando para ello un crisol.

Póngase de acuerdo con sus compañeros de grupo sobre cómo van a describir lo que observan en cada caso:

Parafina: _____

Iodo: _____

Azufre: _____

Soldadura de estaño: _____

Actividad 3.

Luego de haber visto cada sustancia en diferentes formas, contesten las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las diferentes formas en las que fueron percibidas las sustancias?
2. Habrán observado que al finalizar las experiencias con el ácido esteárico, el iodo y el azufre, las sustancias se habían depositado en las paredes superiores del tubo, siendo que antes de comenzar a calentarlas se ubicaron en el fondo. ¿Cómo se puede explicar este hecho a nivel submicroscópico?
3. Escriban una historia para explicar a nivel submicroscópico cómo es posible que las sustancias puedan transformarse del estado sólido a líquido o del líquido al vapor y viceversa (también pueden servirse de dibujos).

ANEXO 7. SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE «EXPLICANDO LA DISOLUCIÓN»

Institución Educativa --
Jornada tarde sede central
Unidad didáctica y/o secuencias de
enseñanza-aprendizaje
Explicando la disolución

Área/asignatura: Química.

Periodo: II

Grado: Décimo.

Docente facilitador: Lic. Santiago Mosquera.

Estándar: Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen

Proyecto transversal: competencias comunicativas lingüísticas.

Núcleo temático (tema): discontinuidad de la materia.

Ejes temáticos (Grandes ideas¹⁰):

- La existencia de las partículas.
- Movimiento intrínseco de las partículas.
- Fuerzas intermoleculares (desde una perspectiva cualitativa)
- **Espacio vacío entre las partículas.**
- Estados de agregación.
- El arreglo de las partículas determinan las propiedades macroscópicas de la sustancia.
- Cambio físico y cambio químico
- Curvas de calentamiento y enfriamiento.
- Diagramas de fase.

Esquemas de pensamiento de la Química

1. Esquemas cualitativos:

- a. Interacción.
- b. Conservación.
- c. Equilibrio.

¹⁰ Las ideas que se encuentran resaltadas serán el núcleo de desarrollo de esta actividad de enseñanza, sin embargo, los otros grandes tópicos también serán abordados, pero con una menor profundidad, ya que en las próximas secuencias de enseñanza-aprendizaje nuevamente serán abordados con una mayor complejidad.

2. Pensamiento multicausal.
3. Competencias lingüísticas: leer, hablar, escribir y comprender en el lenguaje de las ciencias naturales.

Explicando la disolución

Actividad 1. Cuidadosamente observen que pasa cuando su profesor mezcla ácido esteárico con agua y, posteriormente con acetona. Describan lo observado.

Actividad 2. Comprueben la solubilidad de las otras sustancias en los diferentes solventes, de acuerdo a las siguientes tablas y describan lo observado.

Recuerden

- Realicen cada prueba en un tubo de ensayo limpio.
- Tome solo una pequeña cantidad del sólido, adicione líquido hasta la mitad del tubo.
- Pongan el tapón en el tubo de ensayo antes de agitarlo.

Sal	
Agua	
Tiner	
Azufre	
Agua	
Ácido esteárico	
Removedor	

Conteste las siguientes preguntas, teniendo en cuenta la demostración del profesor, los experimentos que ustedes realizaron y sus experiencias.

1. ¿Qué sustancias son solubles en agua? (traten de encontrar al menos dos ejemplos).
2. ¿Qué sustancias son insolubles en agua?
3. ¿Qué solventes disuelven el ácido esteárico?

Actividad 3. Observen nuevamente la demostración sobre la disolución de la sal que hará el profesor, pero esta vez midiendo el volumen del agua antes y después de agregar la sal.

1. ¿Qué le sucede al volumen del agua cuando se le adiciona la sal? Observen el calentamiento de la disolución salina.

1. ¿Qué permanece en el fondo después de la evaporación?
2. ¿A dónde se fue el solvente (el agua)?

Actividad 4. Reflexiones y explicaciones.

1. Según esta teoría, ¿qué le ocurre a las moléculas de la sal, cuando esta se disuelve en el agua? (Si lo prefieren, pueden explicar lo que piensan mediante dibujos).
2. ¿Cómo podrían explicar lo que sucede en las otras observaciones realizadas?
3. ¿Cómo podrían explicar lo que sucedió con el volumen del agua en la Actividad 3?
4. ¿Cómo podría explicar que en la Actividad 3 se haya podido recuperar la sal?

**ANEXO 8. SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE
«CAMBIO QUÍMICO»**

Institución Educativa Eustaquio Palacios
Jornada mañana sede central
Unidad didáctica y/o secuencias
de enseñanza-aprendizaje

Reacciones químicas

Asignatura: Química.

Periodo: II

Grado: Décimo.

Docente facilitador: Lic. Santiago Mosquera.

Estándar: Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen.

Proyecto transversal: Competencias comunicativas lingüísticas.

Núcleo temático (Tema): Discontinuidad de la materia.

Ejes temáticos (Grandes ideas¹¹):

- La existencia de las partículas.
- Movimiento intrínseco de las partículas.

¹¹ Las ideas que se encuentran subrayadas serán el núcleo de desarrollo de esta actividad de enseñanza, sin embargo, los otros grandes tópicos también serán abordados, pero con nivel de tratamiento de menor profundidad, gracias a que en las próximas secuencias de enseñanza-aprendizaje nuevamente los abordaremos con una mayor complejidad.

- Fuerzas intermoleculares (desde una perspectiva cualitativa)
- Espacio vacío entre las partículas.
- Estados de agregación.
- El arreglo de las partículas determinan las propiedades macroscópicas de la sustancia.
- Cambio físico y **cambio químico**.
- Curvas de calentamiento y enfriamiento.
- Diagramas de fase.

Esquemas de pensamiento de la química

1. Esquemas cualitativos:
 - a. Interacción.
 - b. Conservación de partículas y de la identidad de los átomos.
 - c. Equilibrio.

Esquemas cuantitativos

1. **Proporcionalidad.**
2. Pensamiento multicausal.
3. Competencias lingüísticas: leer, hablar, escribir y comprender en el lenguaje de las ciencias naturales.

Cambio químico

Actividad 1. Enciendan una vela y observen cuidadosamente lo que sucede durante unos tres minutos.

1. Cuando la vela está prendida ¿qué le sucede a la cera que rodea la mecha?
2. ¿**Por qué** disminuye el tamaño de la vela?
3. Piensen en el aire alrededor de la vela. ¿Qué sucede cuando se produce una combustión tanto en un sistema abierto como en un sistema cerrado (cuando la vela se cubre con un *beaker*)?
4. ¿Es posible recuperar la cera después del proceso? y ¿qué sucede con el aire, tanto en la combustión abierta como en la cerrada?
5. Compare el proceso de la combustión de la vela con el proceso de la disolución de la sal en el agua.
6. Intenten explicar lo que pasa cuando la vela está encendida, usando la idea de que hay moléculas de oxígeno en el aire y moléculas de parafina en la vela.

Actividad 2. Cobre y azufre.

Observen cuidadosamente algo de azufre en polvo y algo de cobre. Describan lo que observan y noten su apariencia antes y después de calentar.

Ahora, mezclen el azufre y el cobre en un mismo tubo de ensayo, luego tápenlo con un tapón. Después, de haber hecho las descripciones correspondientes, caliente la mezcla suavemente al principio, y posteriormente aumente la intensidad del calentamiento. Finalmente, describan el producto (sulfito de cobre) que se obtiene en el tubo de ensayo luego de calentar, y respondan los siguientes interrogantes:

1. ¿Creen que sería fácil recuperar el cobre y el azufre a partir del sulfito de cobre?
2. ¿Qué piensan que le pasa a las partículas (átomos) de cobre y a las partículas (átomos) de azufre?
3. ¿Será el mismo tipo de proceso que ocurrió cuando se fundió el polvo de azufre durante el laboratorio de «Explicando los estados físicos»? Explique su respuesta a nivel submicroscópico.

Actividad 3.

Hierro y azufre (demostración)

1. Después de que el hierro y el azufre comenzaron a reaccionar, y el mechero se retiró, ¿qué observaron?
2. Observen el sulfito de hierro que se formó, ¿será que este se parece a la limadura de hierro o al polvo de azufre?
3. Intenten explicar lo que pasó en términos de átomos de hierro y átomos de azufre.

Actividad 4.

Repasen las explicaciones (modelos) que los grupos han usado para comprender cómo cambian las sustancias cuando se calentaron o se disolvieron en las últimas lecciones. ¿Creen que las observaciones hechas hoy pueden ser explicadas usando estos mismos modelos? Justifica tu respuesta.

«Los científicos piensan que todas las sustancias están constituidas por moléculas entre las cuales no hay nada» (Uribe, 2005).

ANEXO 9. SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE «RAZONES Y PROPORCIONES»

Institución Educativa --
Jornada tarde sede central
Unidad didáctica y/o secuencias
de enseñanza-aprendizaje

Área/asignatura: Ciencias Naturales/Química.

Periodo: II

Grado: Décimo.

Docente facilitador: Lic. Santiago Mosquera.

Estándar: Establezco relaciones entre las características macroscópicas y submicroscópicas de la materia y las propiedades físicas y químicas de las sustancias que la constituyen

Proyecto transversal: Competencias comunicativas lingüísticas.

Núcleo temático (tema): Discontinuidad de la materia

Esquemas cuantitativos:

1. **Proporcionalidad.**

2. Pensamiento multicausal.

3. Competencias lingüísticas: leer, hablar, escribir y comprender en el lenguaje de las ciencias naturales.

Razones y proporciones

Actividad 1. Carrera de pelotas.

- Tome una pelota y marque su «cintura» (como un meridiano de la tierra), y una raya perpendicular en el «polo norte». Luego colóquenla sobre la línea de salida, con la raya por la línea de salida.
- Ahora haga avanzar la pelota a lo largo de la pista que marco en el piso, girándola poco a poco sobre esta, sin levantarla ni deslizarla, como explicó el profesor, hasta completar una vuelta, es decir, hasta que el polo vuelva a estar a la altura de partida.
- Midan la distancia que avanzó la pelota y su diámetro, aproximando en ambos casos al centímetro más cercano posible, escriba los datos en la siguiente tabla:

Pelota	Distancia recorrida	Diámetro	Razón = Distancia/diámetro
1			
2			
3			

- Repitan el mismo procedimiento con las otras dos pelotas.
- Dividan ahora la distancia que avanzó cada pelota por su diámetro, tomando una única cifra en el cociente. Escriba los resultados en la última columna de la tabla.
- Comparen los resultados para el cociente entre las dos variables medidas en cada pelota. Escriba la conclusión con una frase en la que aparezca la palabra razón.

Respondan los siguientes interrogantes:

1. ¿Qué distancia recorre cada pelota al hacer dos giros completos?
2. ¿Cuántas veces tiene que girar cada pelota para recorrer un metro?

Ahora experimenten con alguna o varias de las pelotas, y verifiquen si acertaron en sus respuestas a las dos últimas preguntas.

ANEXO 10. PRUEBA PEDAGÓGICA INICIAL PARA EVIDENCIAR LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES

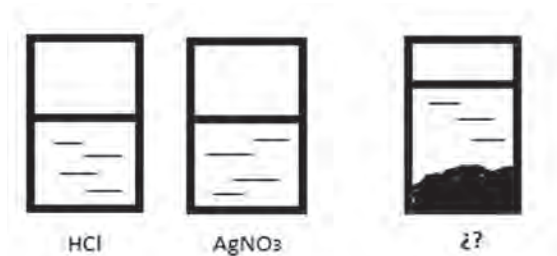
Institución Educativa --
Prueba pedagógica de química
Décimo grado

1. En la figura siguiente tenemos un frasco de cristal que contiene vapor de agua.



Introducimos el frasco en el congelador de la nevera para que se enfríe. Lo sacamos al cabo de un rato y observamos que ahora hay un

sólido (hielo) depositado en las paredes y en el fondo. ¿Qué crees que ha ocurrido con el vapor?



- A. El vapor y el hielo son la misma sustancia, pero ahora tenemos distinta cantidad.
- B. El vapor se ha transformado en una nueva sustancia totalmente diferente, el hielo.
- C. El vapor ha desaparecido, el hielo ya estaba dentro del frasco.
- D. El vapor y el hielo son la misma sustancia, solo ha habido un cambio de aspecto.
- E. Ha habido una interacción entre el vapor y el aire para formar una sustancia diferente, el hielo.

Tomado de Pozo & Gómez (1998).

2. Tenemos dos vasos A y B que contienen ácido clorhídrico (HCl) y nitrato de plata (AgNO₃), ambas sustancias son líquidos transparentes. Se vierte A y B, y se agita, tiene lugar una reacción química. Se observa que en el fondo del vaso aparece una sustancia sólida de color blanco. **¿Qué crees que ha ocurrido?**

- A. Una de las dos sustancias ha cambiado y se ha transformado en el sólido blanco.
- B. El sólido blanco sigue siendo las sustancias A y B concentradas en el fondo del vaso, solo han cambiado de aspecto.
- C. Ha habido una interacción entre las sustancias A y B para formar una sustancia diferente, el sólido blanco.
- D. El sólido blanco sigue siendo las sustancias A y B concentradas en el fondo del vaso, pero hay distinta cantidad.
- E. A y B ya no están en el vaso. El sólido blanco es algo que llevan mezclado o que ya estaba en el vaso al principio.

Tomado de Pozo & Gómez (1998).

3. Tenemos un recipiente lleno de aire y le ponemos un globo en la boca. Calentamos el recipiente y vemos cómo se va hinchando el globo. ¿Por qué crees que sea hinchado el globo?
- Las partículas de aire están más separadas unas de otras y por eso ocupan más espacio.
 - Con el calor el aire se dilata, ocupa más espacio, por eso el globo se hincha.
 - Con el calor el aire se concentra en la parte de arriba, en el globo.
 - Las partículas de aire se dilatan con el calor y al aumentar de tamaño necesitan más espacio.
4. Cuando dejamos un balón al sol observamos que al cabo de un rato está más hinchado. ¿Por qué crees que ocurre esto?
- Porque con el calor las partículas de aire que están dentro del balón se mueven más de prisa, ocupan más espacio y el balón se hincha.
 - Porque con el calor el aire presente en el interior del balón sufre una dilatación, ocupando más espacio y el balón se hincha.
 - Porque el calor hace que aumente la cantidad de aire que hay en el interior del balón y por eso está más hinchado.
 - Porque con el calor las partículas de aire que están dentro del balón se dilatan, necesitan más espacio y por eso el balón se hincha.

(Pozo & Gómez, 1998).

5. El dibujo te muestra un vaso que contiene exactamente 50 gramos de agua y su sustancia química de color blanco (cloruro de potasio, KCl) cuya masa es exactamente 5 gramos. Si echamos el cloruro de potasio en el agua y removemos hasta que se disuelve totalmente, se obtiene una solución transparente.



- ¿Cuál crees que será ahora el peso del contenido del vaso?
- 50 gramos.

- B. Un valor comprendido entre 50 y 55 gramos.
- C. 55 gramos.
- D. Más de 55 gramos.

6. El dibujo muestra un vaso que contiene 40 gramos de agua y 6 gramos de café soluble.



Si echamos el café en el agua y removemos hasta que se disuelve totalmente, se obtiene una disolución de color oscuro. ¿Cuánto crees que pesará ahora el contenido del vaso?

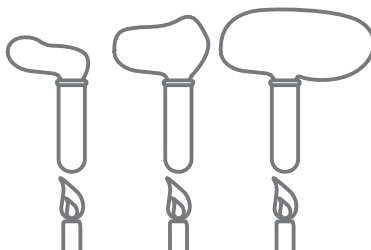
- A. 40 gramos.
 - B. Un valor comprendido entre 40 y 46 gramos.
 - C. 46 gramos.
 - D. Más de 46 gramos.
7. Un cable metálico tiene las siguientes propiedades: conduce la corriente eléctrica, color café, maleable. Ahora el cable es calentado en un recipiente vacío y limpio, hasta que este se evapora. Así, el resultado de este proceso es un gas que tiene las siguientes propiedades: color amarillo, olor picante, ataca los plásticos.

Supón que puedes aislar un solo átomo del cable metálico. ¿Cuál de las siguientes propiedades no es del átomo?

- A. Conduce corriente eléctrica.
 - B. Los átomos están cercanos.
 - C. Su energía es menor que cuando están en la fase líquida.
 - D. Posee un mayor grado de organización.
8. Supón que puedes aislar un átomo desde la sustancia en estado gaseoso. ¿Cuál de estas propiedades puede tener este átomo?
- A. Olor irritante.

- B. Alta energía.
- C. Ataca a los plásticos.
- D. Color amarillo.

9. Cuando un objeto se calienta aumenta de tamaño. A este fenómeno lo llamamos dilatación. Es lo que ocurre, por ejemplo, cuando calentamos el aire que hay al interior de un globo y el tubo de ensayo.



¿Cuál de los siguientes dibujos representa mejor este fenómeno?

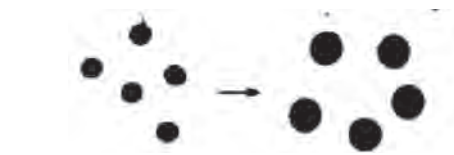
A. Al calentar, aumenta el número de partículas.



B. Al calentar se agitan más intensamente las partículas y aumenta la distancia entre ellas.



C. Al calentar, aumenta el tamaño de las partículas.



D. Ninguno de los anteriores.

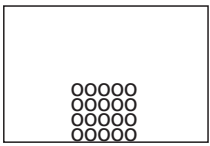
ANEXO 11. PRUEBA PEDAGÓGICA FINAL PARA EVIDENCIAR EL NIVEL DE DESARROLLO DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES

Institución Educativa -- Prueba pedagógica de Química Décimo grado

En cada uno de los ítems usted tiene que dibujar cómo aparecerían las partículas tras el cambio que se indica. Ahora, cada símbolo (círculo, cuadrado, etc.) representa una clase diferente de partículas; de igual forma, las letras que se encuentran dentro de los paréntesis indican el estado en el que se encuentra la sustancia cuando sufre el cambio: sólido, líquido o gas. Adicionalmente, para cada ítem debe de nombrar los esquemas conceptuales que se requieren para poder darle sentido al fenómeno físico o químico.

1


A



Sólido
o = molécula

se derrite →

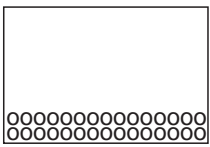
B



Líquido

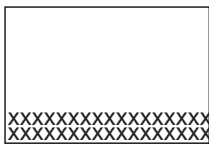
2

A



alcohol (l)
o = molécula de alcohol

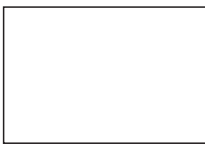
B



agua (l)
x = molécula de agua

se mezclan →

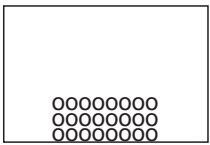
C



disolución (l)

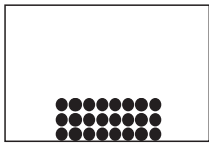
3

A



átomos de selenio (s)
o = átomos de selenio

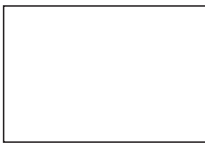
B



átomos de hierro (s)
● = átomos de hierro

se mezclan →

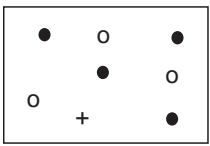
C



mezcla de selenio y hierro (s)

4

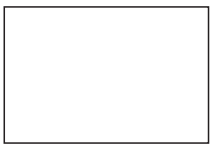
A



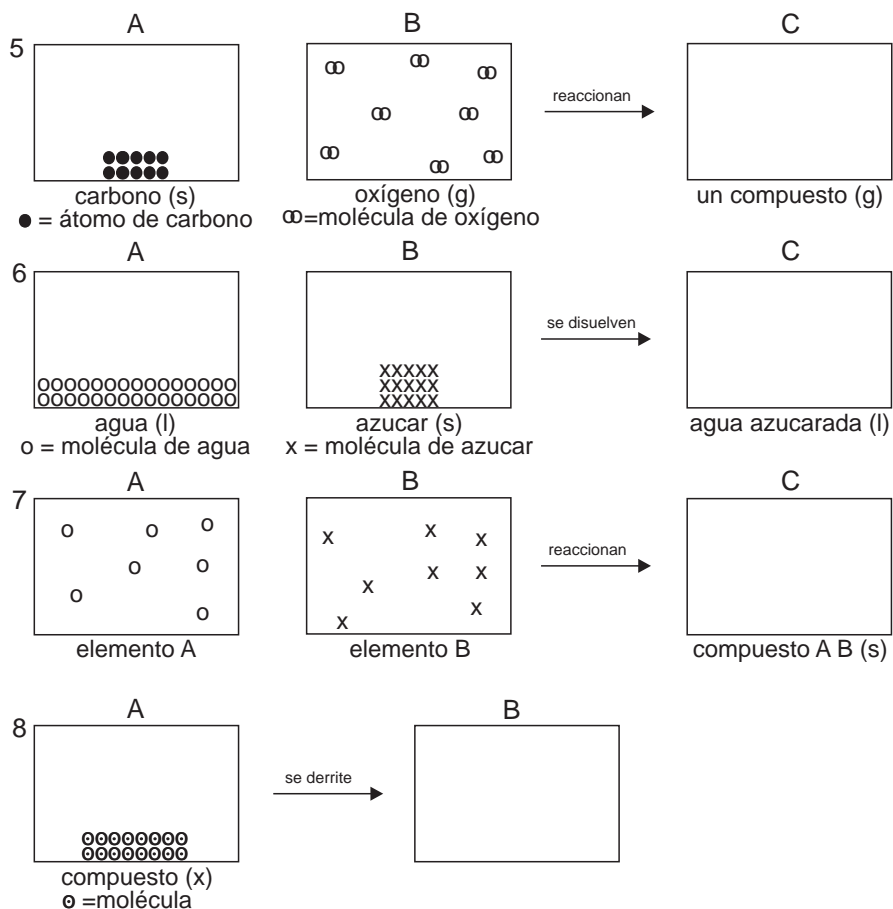
●, o, += átomos de diferentes elementos

Reaccionan →

B



tres compuestos (g)

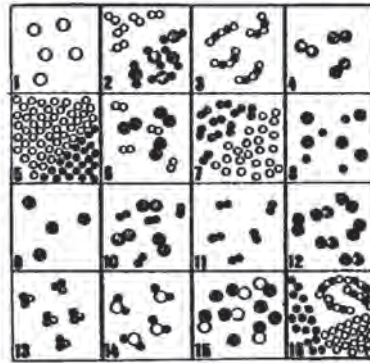


(Tomado Gabel, Samuel y Hunn, 1987).

9. Si observas a tu alrededor verás muchos tipos diferentes de materia. Según su mayor o menor complejidad, podemos clasificarla del modo siguiente:

- Materiales tales como la arena de la playa, agua mineral con gas, una roca como el granito, etc.
- Materiales como el agua de mar, el aire, una disolución de azúcar en agua, una aleación como el bronce, etc.
- Compuestos químicos como el agua, el amoníaco, el dióxido de carbono, el óxido de hierro, etc.
- Elementos químicos como el hidrógeno, el oxígeno, nitrógeno, carbono, hierro, etc.

También sabes que la materia está formada por átomos de distintos tipos. Así pues, a continuación se incluyen diagramas que representan a nivel submicroscópico, mediante pequeños círculos de diferentes tamaños y tonalidades, distintos tipos de materia. La tarea es asociar cada uno de los siguientes diagramas representacionales con los ítems a, b, c o d.



(Tomado de Llorens, 1988).

BIBLIOGRAFÍA

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1998). *Blueprints for reform: Science, Mathematics and Technology education*. New York: Oxford University Press.
- ABELL, S. K. (1992). Helping science methods students construct meaning from text. *Journal of Science teacher Education*, 3(1), 11-15.
- _____ (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416.
- ABELL, S. K. & BRYAN, L. A. (1997). Reconceptualizing the Elementary Science Methods Course Using a Reflection Orientation. *Journal of Science Teacher Education*, 8(3), 153-166.
- ABELL, S. K.; BRYAN, L. A. & ANDERSON, M. A. (1998). Investigating preservice elementary science teacher reflective thinking using integrated media case-based instruction in elementary science teacher preparation. *Science Education*, 82(4), 491-510.
- ABELL, S. K.; CENAMO, K. S.; ANDERSON, M. A.; BRYAN, L. A.; CAMPBELL, L. M. & Hug, J. W. (1996). Integrated media classroom cases in elementary science teacher education. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 15(1/2), 137-151.
- ANDERSON, C. W. & SMITH, E. L. (1987). Teaching science, en: V. Richardson-Koehler (ed.) *Educators' handbook. A research perspective* (pp. 84-111). New York: Longman.

- ANDERSON, R. & MITCHENER, C. P. (1994). Research on science teacher education, en: D. L. Gabel (ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 3-44). New York: Macmillan.
- AUSUBEL, D.; NOVAK, J. & HANESIAN, H. (2005). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- BADDELEY, A. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- BALL, D. & MCDIARMID, G. (1990). The Subject Matter Preparation of Teachers, en: W. Houston, M. Haberman & J. Sikula (eds.), *Handbook of Research on Teacher Education* (pp. 437-449). New York: Macmillan.
- BALL, D. L. & COHEN, D. K. (1999). Developing practice, developing practitioners: Toward a practice-based theory of professional education, en: G. Sykes & L. Darling-Hammond, *Teaching as the Learning Profession: Handbook of Policy and Practice* (pp. 3-32). San Francisco: Jossey-Bass.
- BORKO, H. & MAYFIELD, V. (1995). The roles of the cooperating teacher and university supervisor in learning to teach. *Teaching & Teacher Education*, 11(5), 501-518.
- CALIFORNIA STATE BOARD OF EDUCATION (1990). *Science framework for California public schools kindergarten through grade twelve*. Sacramento, CA: California Dept. of Education.
- CANDELA, B. F. (2012). *La captura, la documentación y la representación del CPC de un profesor experimentado y «ejemplar» acerca del núcleo conceptual de la discontinuidad de la materia*. Tesis de maestría. Cali: Universidad del Valle.
- CHI, M. T.; SLOTTA, J. D. & De LEEUW, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- CLERMONT, C.; BORKO, H. & KRAJCIK, J. (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (4), 419-441.
- COLOMBIA, MINISTERIO DE EDUCACIÓN (MEN) (1998). *Lineamientos Curriculares para el Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Bogotá: Autor.
- DE JONG, O. & VAN DRIEL, J. (2004). Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meaning of chemistry topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(4), 477-491.
- DE JONG, O.; VEAL, W. & VAN DRIEL, J. (2002). Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base, en: J. K. Gilbert et al. (eds.), *Chemical Education: Towards*

- Research-based Practice* (pp. 369-390). Dordrecht, NLD: Kluwer Academic Publishers.
- DEWEY, J. (2004). *Experiencia y Educación*. Traducción de L. Luzuriaga. Madrid: Biblioteca Nueva (Trabajo original publicado en 1939).
- DOYLE, W. (1983). Academic Work. *Review of Educational Research*, 53(2), 159-199.
- DRECHSLER, M. & Van Driel, J. (2008). Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid-Base Chemistry. *Research in Science Education*, 38(5), 611-631.
- DRIVER, R. (1999). Más allá de las apariencias: La conservación de la materia en las transformaciones físicas y químicas, en: R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien, *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (pp. 225-258). Madrid: Morata.
- DRIVER, R. & EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84.
- ELBAZ, F. (1983). *Teacher Thinking: A study of practical knowledge*. New York: Nichols Publishing Company.
- ERICKSON, F. (1989). Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza, en: M. Wittrock, *La investigación de la enseñanza, II. Métodos cualitativos y de observación* (pp. 195-301). Barcelona: Paidós Educador.
- FEIMAN-NEMSER (2001). From Preparation to practice: Designing a Continuum to Strengthen and Sustain Teaching. *Teachers College Record*, 103(6), 1013-1055.
- FENSHAM, P. J. (1994). Beginning to teach chemistry, en: P. J. Fensham, R. F. Gunstone & R. T. White, *The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning*. London: The Falmer Press.
- GABEL, D. L.; SAMUEL, K. V. & HUNN, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695-697.
- GARCÍA, J. (2003). *Didáctica de las ciencias: Resolución de problemas y desarrollo de la creatividad*. Bogotá: Magisterio.
- GARRITZ, A., & Trinidad-Velasco, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia. *Educación Química*, 17(número extraordinario), 114-141.
- GARRITZ, A.; Porro, S.; Rembado, F. M. & Trinidad, R. (2007). Latin-American teachers' pedagogical content knowledge of the particulate nature of matter. *Revista de Educación en Ciencias*, 2(8), 79-84.

- GEDDIS, A. N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: The role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal Science Education*, 15(6), 673-683.
- GRIFFITHS, A. K. & PRESTON, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relative to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research Science Teaching*, 29(6), 611-626.
- GROSSMAN, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press .
- GROSSMAN, P. L. (2005). Un estudio comparado: Las fuentes del conocimiento didáctico del contenido en la enseñanza del inglés en secundaria. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), 1-17.
- GROSSMAN, P. L.; WILSON, S. & SHULMAN, L. (2005). Profesores de sustancia: El conocimiento de la materia para la enseñanza. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*. Profesorado, 9(2).
- GUBA, E. & LINCOLN, Y. (1982). Epistemological and methodological bases of naturalistic inquiry. *Educational Communications and Technology: A Journal of Theory, Research, and Development*, 30(4), 232-252.
- GUDMUNDSDÓTTIR, S. & SHULMAN, L. (2005). Conocimiento pedagógico del contenido en ciencias sociales. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), 1-12.
- GUNSTONE, R. F. & WHITE, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291-299.
- HARRISON, A. G. (2001). Textbooks for outcomes science: A review. *The Queensland Science Teacher*, 27(6), 20-22.
- HARRISON, A. G. & TREAGUST, D. F. (2002). The Particulate Nature of Matter: Challenges in Understanding the Submicroscopic World, en: J. K. Gilbert; et al. (eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 189-212). Dordrecht NLD: Kluwer Academic Publishers.
- HASHWEH, M. (1985). *An exploratory study of teacher knowledge and teaching: the effects of science teachers' knowledge of their subject matter and their conceptions of learning on their teaching*. Tesis doctoral. California: Stanford Graduate School of Education.
- HOLLON, R. E.; ROTH, K. J. & ANDERSON, C. W. (1991). Science teachers' conceptions of teaching and learning, en: J. Brophy (ed.), *Advances in Research on teaching*, vol. 2, (pp. 145-185). Greenwich, CT: JAI Press.

- JOHNSTONE, A. H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64 (227), 377-379.
- _____ (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- _____ (2010). You Can't Get There from Here. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22-29.
- KARPLUS, R. & THIER, H. D. (1967). *A new look at elementary school science: Science curriculum improvement study*. Chicago: Rand McNally.
- KUHN, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd ed.). Chicago, IL: University of Chicago Press.
- LANIER, J. E. & LITTLE, J. W. (1986). Research on teacher education, en: M. C. Wittrock (ed.), *Handbook of Research on Teaching* (3rd ed.) (pp. 527-569). New York: Macmillan.
- LANTZ, O. & KASS, H. (1987). Chemistry teachers' functional paradigms. *Science Education*, 71(1), 117-134.
- LAWSON, A. E.; ABRAHAM, M. R. & RENNER, J. W. (1989). *A theory in instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinkings skills*. Cincinnati, OH: National Association for Research in Science Teaching (NARST).
- LEDERMA, N.; GESS-NEWSOME, J. & LATZ, M. (1994). The Nature and Development of Preservice Science Teachers' Conceptions of Subject Matter and Pedagogy. *Journal Of Research In Science Teaching*, 31(2), 129-146.
- LEE, O.; EICHINGER, D. C.; ANDERSON, C. W.; BERKHEIMER, G. D. & BLAKESLEE, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
- LEINHARDT, G. & SMITH, D. (1985). Expertise in mathematics instruction: Subject matter knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 77(3), 247-271.
- LEMKE, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia: Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- LLORENS, J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*, 4, 33-48.
- LORTIE, D. (1975). *Schoolteacher: A sociological study*. Chicago: University of Chicago Press.
- LOUGHRAN, J. (2001). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 31, 289-307.

- LOUGHRAN, J.; MILROY, P.; BERRY, A.; GUNSTONE, R. & MULHALL, P. (2001). Documenting Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31(2), 289-307.
- LOUGHRAN, J.; MULHALL, P.; BERRY, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing ways of articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (4), 370-391.
- LOUGHRAN, J.; GUNSTONE, R.; BERRY, A.; MILROY, P. & MULHALL, P. (2000). Science Cases in Action: Developing an Understanding of Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. Ponencia presentada en la 73.^a reunión de la Asociación Nacional para la Investigación en Enseñanza de las Ciencias. New Orleans, LA, abril 28-mayo 1, pp. 1-36.
- MAGNUSSON, S.; KRAJCIK, J. & BORKO, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching, en: J. Gess-Newsome & G. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht, NDL: Kluwer Academic Publishers.
- MAGNUSSON, S. J. & PALINESAR, A. S. (1995). Learning environments as a site of science education reform. *Theory into Practice*, 34(1), 1-8.
- MARX, R. W.; BLUMENFELD, P. C.; KRAJCIK, J. S.; BLUNK, M.; CRAWFORD, B.; KELLY, B. & MEYER, K. M. (1994). Enacting project-based science: Experiences of four middle grade teachers. *The Elementary School Journal*, 94(5), 517-538.
- MICHIGAN STATE BOARD OF EDUCATION (1991). *Michigan essential goals and objectives for science education (K-12)*. Lansing MI, MSBE.
- MORTIMER, C. E. (1983). *Chemistry*. California: Wadsworth Publishing Company, Belmont.
- MULHALL, P.; BERRY, A. & LOUGHRAN, J. (2003). Frameworks for representing teachers' pedagogical content knowledge. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 4(2), article 2.
- NASH, L. K. (1966). The atomic molecular theory, en: J. B. Conant (ed.), *Harvard case histories in experimental science* (pp. 215-321). New York: Harvard University Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (1996) *National Science Education Standards: observe, interact, change, learn*. Washington, D. C.: National Academy Press.

- NOVICK, S. & NUSSBAUM, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62(3), 273-281.
- _____ (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- NSTA. (1999). *NSTA Standards for Science Teacher Preparation*. Recuperado el 18 de mayo de 2011, de <http://www.iuk.edu/faculty/sgilbert/nsta98.htm>
- OOSTERHEERT, E. & VERMUNT, J. D. (2003). Knowledge Construction in Learning to Teach: The role of dynamic sources. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 9(2), 157-173.
- PAIXAO, M. F. & CACHAPUZ, A. (2000). Mass conservation in chemical reactions: The development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(2), 201-215.
- PAJARES, M. (1992). Teachers' beliefs and education research: Cleaning up a messy construct. *Review of Education Research*, 62(3), 307-332.
- POZO, J. I. (2008). *Aprendices y maestros: La psicología cognitiva del aprendizaje*. Madrid: Alianza.
- _____ (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE).
- POZO, J. I. & GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y Enseñar Ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- POZO, J. I.; GÓMEZ, M. A.; LIMON, M. & SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: CIDE.
- ROTH, K. J.; ANDERSON, C. W. & SMITH, E. L. (1987). Curriculum materials, teacher talk and student learning: Case studies in fifth-grade science teaching. *Journal of Curriculum Studies*, 19(6), 527-548.
- RUOPP, R.; GAL, S.; DRAYTON, B. & PFISTER, M. (eds.) (1993). *LabNet: Toward a community of practice*. Millsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- SCHÖN, D. (1998). *El profesional reflexivo: Cómo piensan los profesionales cuando actúan*. Barcelona: Paidós.
- SCHWAB, J. (1971). The Practical: Arts of Eclectic. *The School Review*, 79(4), 493-542.

- SHAYER, M. & ADEY, P. (1986). *La ciencia de enseñar ciencias: Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea.
- SHULMAN, L. (2001). Conocimiento y enseñanza. *Estudios públicos*, 83, 163-196.
- _____ (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-21.
- _____ (1986). Those Who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- STAKE, R. (1999). *Investigación con estudio de casos*. España: Morata.
- STAVY, R. (1988). Children's conception of a gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 240-244.
- _____ (1990). Children's conception of changes in the state of matter. *Liquid (or solid) to gas Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266
- TAMIR, P. (1995). Inquiry and the science teacher. *Science Education*, 67(5), 657-672.
- TOBIN, K. G. (abril, 1985). *Academic work in science classes*. Ponencia presentada en la reunión anual de la Asociación Americana de Investigación Educativa. Chicago, IL.
- _____ (1987). What happens in high school science classrooms? *Journal of Curriculum Studies*, 19(6), 549-560.
- TREAGUST, D. F.; Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2003). The role of sub-microscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- STRAUSS, A. & CORBIN, J. (2002). *Bases de la Investigación Cualitativa: Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Traducción de E. Zimmerman. Medellín: Universidad de Antioquía, Facultad de Enfermería (Trabajo original publicado en 1990).
- URIBE, C. (2005). *Pensar con la ciencia: Materiales del proyecto Aceleración cognoscitiva mediante la educación en ciencias en el contexto local*. Cali.
- URIBE GARTNER, C. (2005). *Pensar con la ciencia: Materiales del proyecto Aceleración cognoscitiva mediante la educación en ciencias en el contexto local*. Cali: Universidad del Valle, Facultad de Humanidades.
- VAN DRIEL, J.; VERLOOP, N. & De Vos, W. (1998). Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.

- VALBUENA, E. O. (2007). *El conocimiento didáctico del contenido biológico. Estudios de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- VEAL, W. & MAKINSTER, J. (1999). Pedagogical Content Knowledge Taxonomies. *Electronic Journal of Science Education*, 3(4). Recuperado el 22 de mayo de 2011, de <http://www.unr.edu/homepage/crowther/ejse/vealmak.html>
- VERLOOP, N.; VAN DRIEL, J. & MEIJER, P. (2002). Teacher knowledge and the knowledge base of teaching. *International Journal Educational Research*, 35(5), 441-461.
- WANDERSEE, J.; MINTZES, J. & NOVAK, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science, en: D. Gabel (ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: MacMillan.
- WILSON, S.; SHULMAN, L. S. & RICHERT, A. E. (1987). 150 different ways of knowing: Representations of knowledge in teaching, en: J. Calderhead (ed.), *Exploring teachers' thinking* (pp. 104-124). London: Cassell.
- YARROCH, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-459.
- ZEMBAL-SAUL, C.; STARR, M. & KRAJCIK, J. (1999). Constructing a framework for elementary science teaching using pedagogical content knowledge, en: J. Gess-Newsome & N. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education* (pp. 237-256). Dordrecht NLD: Kluwer Academic Publishers. Serie Science & Technology Education Library.
- ZEMBAL-SAUL, C.; BLUMENFELD, P. & KRAJCIK, J. (2000). Influence of guided cycles of planning, teaching, and reflection on prospective elementary teachers' science content representation. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 318-339.



Programa  ditorial