

**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 espacio vacíos entre las partículas, ellos deberán ser conscientes de que se están potencializando los esquemas conceptuales

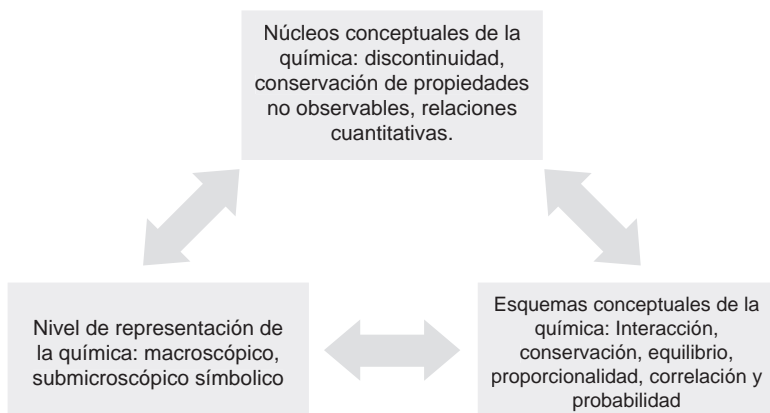


Figura 4.1. Metasistema que fundamenta el aprendizaje de los conceptos de la química y permite el desarrollo de esquemas de pensamiento formal

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).

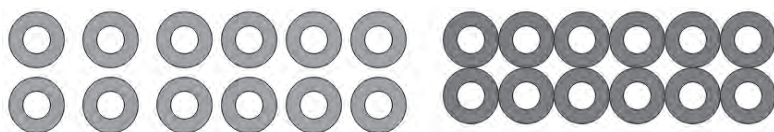


Figura 4.2. Representación de las partículas del sistema de agua congelada (círculos oscuros) y el sistema de partículas de calor (círculos claros), elaborada por los estudiantes para materializar el calor

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.

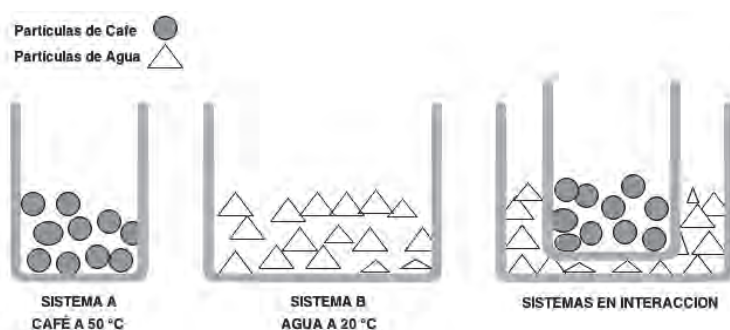


Figura 4.4. Representación a nivel submicroscópico en donde se observan dos sistemas interactuando, utilizada por el profesor para explicar el concepto de calor

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?, ¡vuélvanme 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**