

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

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

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

#### **LOS TRES NIVELES DE REPRESENTACIÓN DE LA QUÍMICA**

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

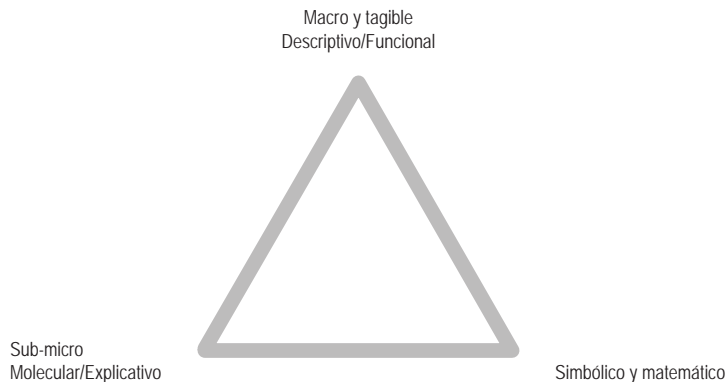
disciplina puede actuar como acelerador o como obstáculo para que el estudiante pueda acceder a los tópicos abstractos. Por consiguiente, este autor plantea que durante la planeación, la enseñanza y la reflexión se debe tener en cuenta aspectos tales como: sistemas de comunicación, niveles de representación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

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

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

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

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



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

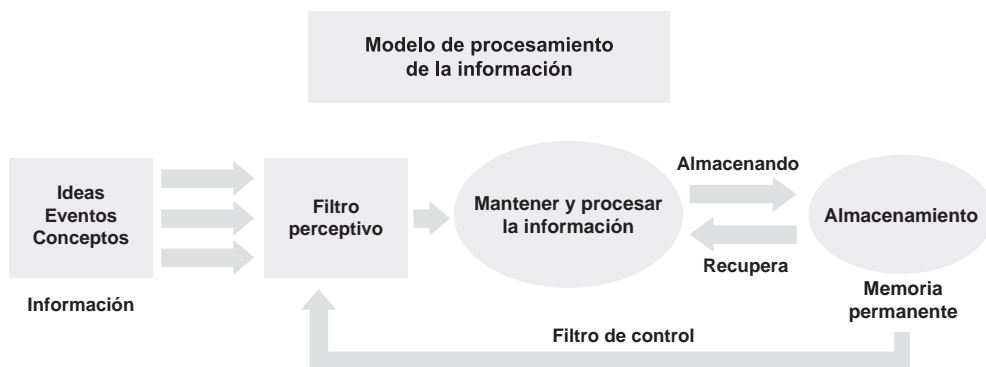
Fuente: Johnstone, 1982.

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

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

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

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



**Figura 2.2. Modelo esquematizado del aprendizaje**

Fuente: Johnstone, 1991.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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



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

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

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

**PÁGINA EN BLANCO  
EN LA EDICIÓN IMPRESA**