

Representación continua y discreta de la materia en estudiantes de Química

Leticia Gallegos-Cázares¹ y Andoni Garritz-Ruiz²

Abstract

The concept of “framework theory” or “implicit theory” is presented as a mental structure not available to conscious awareness, but used by individuals in the process of acquiring knowledge about the physical world. This implicit theory could be applied in a specific knowledge domain as a “domain theory”. The concept of “mental model” is also presented, as a belief that gives rise to a mental representation, under the constraints of the presuppositions of the framework theory.

Within this framework of theories and models, we present the results of a research that analyzes the structure of matter continuous and discrete representations of chemistry students at the university, level that has been relatively forgotten by other researchers. It is worthwhile to emphasize how in this level may exist a continuous representation or a discrete one of the substantialization kind in the students' minds. It is also confirmed that one of the main troubles for constructing scientific knowledge is to properly consider the existence of vacuum between the particles that constitute matter.

Introducción

Desde los inicios de las investigaciones sobre ideas previas de los estudiantes se consideró que éstas conformaban cierto nivel de organización en la mente de los sujetos; ejemplo de ello se tiene en las múltiples denominaciones que estas ideas han recibido por parte de los investigadores. Las distintas formas de organización se presentan en dos grandes extremos: por una parte hay investigadores que consideran que las ideas de los estudiantes son elementos fragmentados de pensamiento cuya organización obedece a ciertos mecanismos mentales que permite darles una estructura, mientras que otros consideran que las ideas reflejan apenas una pequeña parte de

lo que constituye una teoría del sujeto que en la mayoría de los casos permanece implícita. A continuación se presenta la aproximación que distintos autores hacen en relación con la organización e interpretación de las ideas de los estudiantes.

Vosniadou e Ioannides (1998) sostienen que el inicio del proceso de adquisición de conocimientos consiste en la formación de conceptos elementales que se conectan sobre la base de la similitud para crear estructuras conceptuales más complejas. Los conceptos y las estructuras conceptuales, dicen, están incrustados en estructuras teóricas mayores. Hablan de una «teoría marco», como un marco explicativo causal para organizar los fenómenos físicos, que no tiene nada que ver con una teoría científica, ya que se supone que no está disponible en la conciencia del sujeto, ni para la prueba de hipótesis. En adición a la «teoría marco», se supone que también se construyen «teorías específicas» o «teorías de dominio», para explicar un conjunto limitado de fenómenos. Estas teorías específicas consisten de creencias que dan lugar a representaciones mentales, o «modelos mentales», bajo la constrictión de la teoría marco.

Susan Carey (1991) parte de la consideración de una organización de teorías en la mente de los sujetos. En relación con el significado del término «teoría», dice al respecto que:

Por *concepto*, *creencia* y *teoría* me refiero a estructuras mentalmente representadas. Los **conceptos** son unidades de representación mental; burdamente expresado son como las semillas de los elementos léxicos más simples, tales como *objeto*, *materia* y *peso*. **Creencias** son proposiciones mentalmente representadas tomadas por el creyente como ciertas, tales como *El aire no está hecho de materia*. Los conceptos son los constituyentes de las creencias; esto es, proposiciones que son representadas por estructuras de conceptos. Las **teorías** son estructuras mentales complejas, consistentes en un dominio de fenómenos representados mentalmente y en un principio explicativo alrededor de los mismos. (Carey, 1991, p. 258).

¹ Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico.

Correo electrónico: gallegos@aleph.cinstrum.unam.mx

² Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D.F.

Correo electrónico: andoni@servidor.unam.mx

Años antes, la misma Carey (1985, p. 201) daba la siguiente caracterización de una teoría, y detallaba además que debía existir un número relativamente bajo de dichas teorías en la mente de los niños:

Una teoría está caracterizada por los fenómenos en su dominio, sus leyes y otros mecanismos explicativos, así como los conceptos que articulan sus leyes y las representaciones de los fenómenos. La explicación se encuentra en el corazón de toda teoría. Es su mecanismo explicativo lo que distingue a las teorías de otros tipos de estructuras conceptuales...

Mi conjetura, sin embargo, es que hay sólo relativamente pocas estructuras conceptuales que expresen nociones explicativas profundas... Estas estructuras conceptuales corresponden a dominios que podrían ser las disciplinas en una universidad: psicología, mecánica, *una teoría de la materia*,¹ economía, religión, gobierno, biología, historia, etcétera.

También, en el mismo libro, habla de la importancia de la construcción de teorías en el proceso cognitivo humano:

La evidencia disponible sugiere que no hay cambio del desarrollo en las nociones cimientos que subyacen toda la construcción de teorías. Los seres humanos son constructores de teorías; desde el principio construimos estructuras modelos mentales explicativas que nos ayudan a encontrar la realidad más profunda que subyace sobre el caos superficial. (Carey, 1985, p. 194).

Karmiloff-Smith (1991, p. 192) concluye su artículo, en el que analiza el desarrollo cognitivo de los niños, con la mención de que:

El niño es un constructor espontáneo de teorías (acerca del lenguaje, la física, etcétera) y explota el conocimiento innato y adquirido que él o ella ya ha almacenado vía un proceso de redescipción representacional, en otras palabras, mediante la representación recursiva de sus propias representaciones.

Partiendo de la base de que la transformación del conocimiento no está en los conceptos sino en los modelos, Nersessian (1992) propone que las perso-

nas codifican representaciones proposicionales que se organizan de acuerdo a ciertos constructos, llamados «*modelos mentales*», de fenómenos imaginarios, eventos, procesos, etcétera. Con estos modelos mentales el sujeto es capaz de construir inferencias que formarán una estructura semántica. Esto significa que una teoría requiere de la construcción de modelos mentales que incluyen a los conceptos científicos codificados proposicionalmente en el modelo.

Desde esta perspectiva, los sujetos, ante un problema fenomenológico, construyen modelos mentales que están ligados a una teoría o marco general, en donde los conceptos toman significado debido a que relacionan el modelo y su contexto específico. Por otro lado, la mayoría de las investigaciones sobre cambio conceptual están referidas a estructuras de dominio específicas y en gran cantidad de trabajos sobre este tema el conocimiento de los estudiantes se caracteriza en términos de estos modelos.

Los «*modelos mentales*» han sido empleados por diferentes investigadores (Jonson-Laird, 1983; Gentner y Stevens, 1983). Aquí los usaremos para referirnos a una representación analógica que generan los individuos durante su funcionamiento cognitivo, y que tiene la característica especial de que preserva la estructura de los fenómenos o conceptos que se supone representa. Los modelos mentales, que para el caso de nuestro análisis tienen que ver con la estructura de la materia, son representaciones dinámicas y generativas que pueden manipularse mentalmente para proveer explicaciones causales de los fenómenos físicos y para hacer predicciones acerca del estado de cosas en el mundo físico. Los modelos mentales son representaciones mentales idiosincrásicas, funcionales aunque incompletas, que actúan como análogos estructurales a fenómenos o situaciones del mundo externo (Greca y Herscovitz, 2002).

Así, para comprender los conceptos y leyes de una teoría científica, como la de la estructura de la materia, y, en consecuencia, los fenómenos que ésta describe y explica, los estudiantes deberían construir modelos mentales capaces de propiciar explicaciones y predicciones coincidentes con las científicamente aceptadas. Sin embargo, este proceso no parece tener éxito para la mayoría de los estudiantes que, aun presentando modelos que brindan explicaciones y predicciones sobre los fenómenos físicos, éstos no son coincidentes con los científicos. Así, los estudiantes muchas veces construyen modelos mentales para poder dar sentido al mundo en el que viven, pero no logran que esos modelos se basen en

¹ El tipo cursivo es nuestro.

conceptos científicos sino en sus concepciones alternativas. Dichos modelos determinan la forma de representación de los fenómenos o situaciones en que ese concepto estaría involucrado. Estos modelos mentales están relacionados entre sí y pueden constituir teorías de dominio específico en el sentido de que son entidades inobservables construidas para dar explicación a fenómenos observables. En este trabajo se parte desde esta perspectiva y se analizarán los modelos de los estudiantes que surjan como resultado de la interacción con un problema fenomenológico específico.

Teorías y modelos mentales sobre la estructura de la materia

De la revisión bibliográfica sobre el tema de estructura de la materia (Andersson, 1990) se encuentra que estudiantes de distintas edades, desde educación básica hasta universitarios, incluidos los de posgrado (Bodner, 1991), mantienen una concepción continua de la materia, en la que ésta no tiene una estructura microscópica. Otros estudios (Haidar y Abraham, 1991; Gallegos, 2002; Trinidad y Garritz, 2003) muestran que de manera simultánea y ante la presión del investigador algunos estudiantes expresan la existencia de una representación de partículas, misma que aumenta en la proporción de sus adeptos cuando los estudiantes avanzan en edad e instrucción, a la que nos referiremos aquí como concepción discreta.

Lo anterior sugiere que los alumnos utilizan dos formas de representación: una continua y otra discreta. La representación continua es aquella con la que se encuentran más familiarizados, mientras para la representación discreta no se tiene una única representación y no se establecen aún las formas de interrelación entre ambas. Lo anterior se refleja en la dificultad que existe en que los estudiantes establezcan la conexión entre su visión microscópica y el mundo macroscópico, o bien se refleja en el traslado de las propiedades macroscópicas a las partículas microscópicas.

Los resultados hasta ahora mostrados corresponden en su mayoría a estudiantes de secundaria y preparatoria, por lo que el objetivo de este trabajo es construir y mostrar las teorías y modelos mentales sobre estructura de la materia de estudiantes de la carrera de Química ante la presentación de contextos fenomenológicos específicos. Hemos elaborado otro trabajo a partir de los mismos resultados, en el que hacemos énfasis en el concepto de perfil episte-

mológico de Bachelard y, con base en él, construimos perfiles de modelos de los estudiantes (Gallegos y Garritz, 2001). En este documento analizaremos las teorías de dominio y los modelos mentales correspondientes sobre el tema de estructura de la materia de estudiantes universitarios.

Metodología

Se seleccionó una muestra de alumnos de primero, tercero, quinto, séptimo y noveno semestres de la carrera de Química de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. La distribución de los alumnos es: 25 de primero, 21 de tercero, 16 de quinto, 21 de séptimo y 23 de noveno semestres.

Para encontrar las coincidencias en el uso de representaciones discretas y continuas en las explicaciones de los estudiantes se construyeron dos cuestionarios paralelos, se utilizaron nueve preguntas ya empleadas en otros trabajos (Novick y Nussbaum, 1978; Haidar y Abraham, 1991; Bodner, 1991; de Posada, 1997) y se construyeron ocho preguntas más. En el primer cuestionario las preguntas sobre los fenómenos son abiertas y el lenguaje empleado es coloquial, mientras que en el segundo cuestionario se solicitó a los estudiantes que respondieran a las preguntas con el uso de partículas, moléculas o átomos en las explicaciones. En ambos cuestionarios se solicitaron dibujos que complementen las respuestas.

Las preguntas estuvieron relacionadas con los siguientes cuatro contextos:

- Estados físicos de la materia.
- Cambios de fase.
- Disoluciones, y
- Emisión de luz y conductividad eléctrica.

Otro instrumento empleado fue el de la entrevista, aplicada solamente a dos estudiantes de cada semestre, es decir, un total de diez entrevistas. La selección de los alumnos para las entrevistas se basó en dos criterios: que las respuestas mostraran la presencia de los dos tipos de teorías (continua y discreta), y que uno de los dos estudiantes de la muestra presentara en sus respuestas la posibilidad de incorporar el vacío en sus explicaciones y otro que negara su existencia.

Las entrevistas siguieron la secuencia y los problemas planteados en los cuestionarios, buscando en todo momento una mayor explicación sobre las

ideas tipo de representación continua o molecular y atómica que los estudiantes contestaron durante la aplicación de los mismos. De las entrevistas se obtuvieron los detalles de las teorías y los modelos mentales de los alumnos.

Las ideas de los estudiantes expresadas en cuestionarios y entrevistas fueron categorizadas de acuerdo a dos representaciones posibles: continua y discreta. Estas dos representaciones se pueden catalogar como *teorías de dominio* (Carey, 1991) de la estructura de la materia. En cada teoría de dominio se reconoce a su vez una serie de modelos mentales que explican la forma en que las concepciones de los estudiantes se relacionan. A continuación se presentan las dos teorías de dominio y los elementos que las conforman, así como los modelos con los que los estudiantes explican los fenómenos.

La teoría de dominio continua

Los estudios muestran que estudiantes de distintas edades, que incluyen a los universitarios, mantienen una teoría continua de la materia. Todos los estudios al respecto (Andersson, 1990) coinciden en señalar que los estudiantes mantienen sus concepciones alternativas sobre la estructura de la materia, aun después de realizar estudios formales de química; esto es, mantienen sus representaciones macroscópicas, basadas en la apariencia directa de la realidad, que conciben la materia como continua, estática y sin espacios vacíos entre sus partes; este pensamiento de la vida diaria es determinado por lo observable.

En general estudiantes y maestros que mantienen una teoría continua de la materia basan sus observaciones en la percepción y utilizan conceptos como masa, fuerza y peso que se incorporan a la teoría (Dibar y Colinvaux, 1989). En esta concepción la materia no tiene una estructura microscópica.

Dentro de esta teoría de dominio identificamos como modelo mental, esto es aquel que rige la construcción de las representaciones de los alumnos, a la conservación de la materia. Cabe hacer notar que esto difiere de otros estudios que muestran ejemplos en donde la justificación de los estudiantes radica en que la materia desaparece (Renström, Andersson y Marton, 1990).

Algunas de las formas de explicación dentro de este modelo continuo y conservativo son coincidentes con las categorías de Andersson (1990); a continuación introducimos citas textuales del modelo y sus distintos tipos de explicación. Hemos selecciona-

do una cita prácticamente por cada uno de los semestres escolares investigados; entre paréntesis aparecen aclaraciones sobre el texto que se consideran necesarias.

La materia se conserva. En este caso es posible distinguir entre aquellas ideas que se refieren a:

a) Desplazamiento de la materia: por efectos del calor, presión, volumen, etc. Por ejemplo, es la forma como algunos alumnos explican la disolución de un soluto en un disolvente, por desplazamiento de los lugares que previamente ocupaba el disolvente o bien que un globo se infle por el movimiento del aire caliente de abajo hacia arriba.

(Al preguntarle qué sucede cuando se calienta el aire dentro de un matraz al cual se ha conectado un globo en su boca) Al calentar el matraz (el aire) empieza a utilizar más volumen y busca una manera de salir, entonces empieza a inflar el globo (conectado al matraz)

Estudiante de primer semestre

(En la disolución de azúcar y agua el estudiante contesta) Lo que yo entiendo es que el azúcar está digamos pura entre comillas, está ella sola, entonces entra el agua y separa el azúcar... las moléculas de azúcar (refiriéndose en realidad a pequeñas unidades de azúcar no con carácter molecular) está rodeada de agua; entonces se disuelve.

Estudiante de tercer semestre

Cuando el agua empieza a hervir se forman burbujas de aire por las corrientes que se forman, debido al calentamiento se va mezclando el aire frío con vapor y el líquido se va captando hasta llegar al punto de ebullición.

Estudiante de quinto semestre

Cuando el aire (dentro del globo) se calienta tiende a desplazarse hacia arriba desplazando el aire frío del exterior por lo que (el globo) sube.

Estudiante de séptimo semestre

(Ante la pregunta de cómo se forman las primeras burbujas cuando un recipiente con agua se calienta un estudiante responde) Las burbujas son de vapor de agua, se supone que el calor pasa de abajo hacia arriba, entonces lo que se calienta primero es el agua que está abajo y se va haciendo vapor y como es más ligero ya busca la manera de salir.

Estudiante de noveno semestre

b) Modificación de la materia: por efectos del

calor, presión, volumen etc. Implica que una sustancia retiene su identidad mientras algunas de sus propiedades sí cambian. Por ejemplo, ésta es la forma como explican algunos estudiantes la disolución de un sólido en un líquido, mencionando que el sólido primero se transforma en un líquido que luego se mezcla con el disolvente, o bien que el aumento en la cantidad de calor de una sustancia produce que la densidad disminuya o el volumen aumente en un fluido.

El globo conectado al matraz se infla por la presión que es ejercida por el calentamiento de la llama.

Estudiante de primer semestre

El aire al calentarse, como es un gas, tenderá a expandirse aumentando la presión sobre las paredes del recipiente, para equilibrar nuevamente dicha presión, que existe tanto en el globo como en el recipiente. El aire fluirá del recipiente al globo al que está conectado.

Estudiantes de tercer semestre

El agua disuelve el azúcar ya que existe cierta energía de solvatación que rompe los enlaces del soluto que son más débiles y por eso se hidrata.

Estudiante de quinto semestre

El globo conectado al matraz se infla porque aumenta la presión dentro del recipiente, el aire dentro de éste pasa al globo porque se supera la presión fuera del recipiente.

Estudiante de séptimo semestre

c) Distribución de la materia. En estas explicaciones se atribuyen los fenómenos a la difusión de la materia, por lo general en las explicaciones se incluyen conceptos como el de densidad.

El azúcar y el agua tienen densidades muy parecidas y al mezclarlas queda una solución homogénea.

Estudiante de primer semestre

El agua no puede disolver el gis porque el gis es más denso que el agua

Estudiante de tercer semestre

Si se coloca azúcar en agua por difusión la solución en cada una de sus partes tratará de llegar al equilibrio, por lo que el azúcar se empezará a disolver en el agua en igual concentración en toda el agua. Esto pasa aunque no se revuelvan.

Estudiante de quinto semestre

El globo conectado al matraz se infla por el aire caliente que hay dentro del recipiente ya que al calentar el aire se dispersa por todo el interior.

Estudiante de séptimo semestre

El globo conectado al matraz se infla porque los gases al aumentar su temperatura aumentan su volumen y por ende la presión que ejerce el aire en el interior del globo aumenta.

Estudiante de noveno semestre

d) Características de la materia. Corresponden a todas aquellas ideas en las que las propiedades de la materia son causa del fenómeno.

El gis no se disuelve en el agua porque es muy ligero y sería como el agua y el aceite que no se mezclan porque uno es más ligero que el otro.

Estudiante de primer semestre

Son las propiedades químicas de los compuestos lo que permite que se formen los colores (que se observan cuando explotan los fuegos pirotécnicos).

Estudiantes de tercer semestre

Las propiedades del gis son distintas a las del agua por lo que al revolverse sólo forman una fase heterogénea.

Estudiante de quinto semestre

A cierta temperatura el yodo se sublima.

Estudiante de séptimo semestre

La sal se disuelve en agua porque su solubilidad es alta y como el agua es muy polar generalmente disuelve a lo semejante

Estudiante de noveno semestre

Como puede observarse en la muestra investigada no aparece el modelo no conservativo de la materia. En cuanto al modelo de conservación de la materia entre las categorías que encuentra Andersson, no apareció en nuestra muestra la de “transmutación”, que implica una transformación en otro tipo de sustancia sin considerar que contenga o no el mismo tipo de átomos, que es una idea inaceptable actualmente para la ciencia (como, por ejemplo, que el hierro se transforme en carbón al oxidarse).

La teoría de dominio discreta

De acuerdo a las características que presentan las ideas de los estudiantes podemos distinguir tres modelos en la teoría discreta que se presenta en los estudiantes.

Modelo discreto I, o de sustancialización. Lleva al uso de partículas en las representaciones estudiantiles,

con las mismas propiedades que las características macroscópicas de la materia, es decir, las macropropiedades se transfieren al micromundo.

Cuando los alumnos trascienden la etapa de pensamiento continuo de la materia, penetran en otra en la que piensan que la materia está constituida por partículas, no precisamente iguales a los átomos y las moléculas de las ideas científicas, sino que mantienen algunas de las características de la materia en bloque. Es decir, si la materia es de color ocre, esto pasa porque sus partículas son ocre también (Albanese y Vicentini, 1997); si la materia se expande al pasar al estado gaseoso, ello ocurre porque las partículas se expanden igualmente, o que las moléculas de la cera deben ser iguales de suaves que la cera misma (de Vos y Verdonk, 1987); si un metal es maleable, ello sucede porque los átomos que lo constituyen también lo son (Ben-Zvi, Eylon y Silbersstein; 1986). Como vemos éste es un modelo mental de constitución de la materia que no tiene que ver con la concepción científica al respecto y, sin embargo, es una concepción alternativa muy arraigada entre los estudiantes.

A continuación introducimos citas textuales de los estudiantes que revelan el uso de este modelo:

El aumento de calor produce en las moléculas algunos cambios macroscópicos como son la dilatación, expansión, cambios de peso, disminución en la densidad y rompimiento de puentes de hidrógeno.

Estudiante de primer semestre

Al aumentar la cantidad de calor las moléculas líquidas se hacen gas, se expanden o disminuyen su densidad. El globo se infla ya que las partículas del recipiente al calentarlas se expanden un poco debido a la energía que se proporciona.

Estudiantes de tercer semestre

El globo se estira por la expansión de las moléculas de aire. En la evaporación, las moléculas se expanden.

Estudiantes de quinto semestre

Durante la ebullición las burbujas del agua se forman ya que las moléculas se evaporan y condensan.

Estudiante de séptimo semestre

Durante la ebullición las moléculas se expanden y aumentan su energía cinética en el mismo espacio. Se emite luz generalmente por las características físicas y químicas del metal, esto es lo que hace que se produzca cierta coloración.

Estudiantes de noveno semestre

Este modelo mental es uno en el cual el nivel micro de representación es una copia exacta de la realidad, de lo observable, del nivel macroscópico. Los estudiantes no han comprendido correctamente la teoría microscópica de la materia y encuentran cómodo explicarse los fenómenos con un modelo en el que toda explicación microscópica se basa en la duplicación de las propiedades macroscópicas en las partículas mismas ya que no encuentran otro modelo que sea igualmente fructífero.

Modelo discreto II o molecular. La molécula se considera como la unidad que se conserva durante las transformaciones. La molécula es una partícula material cuyo comportamiento está gobernado por las leyes de la mecánica y se incorporan a ella características como: movimiento, energía y fuerza.

Es el conocimiento del mundo corpuscular del químico y su uso frecuente y rutinario el que crea un espacio vacío de comunicación entre los químicos y los no-químicos. Es por ello que los estudiantes de química van poco a poco asimilando que la molécula y el átomo deben ser instancias de uso cada vez más común en su lenguaje. Los alumnos van aprendiendo que el término *especie molecular* es como la contraparte corpuscular del concepto de *sustancia*, ya que todas las moléculas de una sustancia pertenecen a la misma especie, mientras que las moléculas de diferentes sustancias pertenecen a especies diferentes (de Vos y Verdonk, 1987).

A continuación introducimos citas textuales de los estudiantes que revelan el modelo molecular que emplean:

El aumento de temperatura implica un aumento en la separación de las moléculas, la energía cinética, el movimiento, la velocidad, el número de choques, disminuye la fuerza de cohesión entre las moléculas y aumentan las fuerzas de repulsión lo que cambia algunas características de la materia como son la densidad y el volumen.

La disolución es un proceso de redistribución y combinación entre las moléculas del soluto y las del disolvente.

Estudiantes de primer semestre

El aumento en la cantidad de calor produce mayor energía cinética, separación, repulsión, movimiento caótico, colisiones, velocidad, lo que rompe enlaces y disminuye las fuerzas intermoleculares, por lo que hay una diferencia de presión, volumen y cambios de estado.

Las moléculas de azúcar poseen una parte polar y otra

no polar. La parte polar se une a las moléculas de agua, provocando que se disuelva perfectamente en ella.

Estudiantes de tercer semestre

El aumento de calor produce que las moléculas tengan más movimiento, energía cinética y potencial, volumen, cantidad de colisiones, mayor distancia de separación y rompimiento de enlaces como puentes de hidrógeno y disminución de fuerzas de Van der Waals. Los iones de la sal se disocian en el agua.

Estudiantes de quinto semestre

El aumento de calor incrementa el desorden de las moléculas y su energía cinética, ocupan más espacio o distancia, presión interna, volumen, aumento de colisiones, velocidad, entropía y hay menor atracción entre ellas.

Las fuerzas intermoleculares soluto-disolvente son mayores que las de soluto-soluto y las de disolvente-disolvente, si las fuerzas de unión son mayores, la disolución tiende a formarse. Por ello se disuelve la sal en agua.

Estudiantes de séptimo semestre

Al ir subiendo la temperatura, las características de las moléculas de agua cambian teniendo un aumento en el movimiento, su separación, mayor vibración, rompimiento de puentes de hidrógeno, menor orden y unión por lo que disminuye la fuerza intermolecular, hasta que pasan finalmente al estado gaseoso.

La disolución es una solvatación, esto es, las moléculas de agua se separan y rodean a los iones de sal. En este proceso se deshace la red cristalina y los hidrógenos del agua se acercan a los cloros y el lado del oxígeno al sodio.

Estudiantes de noveno semestre

Vemos en las respuestas estudiantiles un modelo mental más consistente con el modelo científico cinético-molecular, en el caso de los diferentes estados de la materia y los cambios de fase, y con el modelo de disociación electrolítica de Arrhenius, en el caso de la disolución de la sal. Sin embargo, algunos de los alumnos tienen todavía una visión estática de las moléculas y a muchos de ellos les cuesta trabajo asimilar que existe espacio vacío entre ellas. Mencionan los alumnos las siguientes frases en las entrevistas, al preguntárseles qué existe entre las moléculas en un gas:

Entre las moléculas hay un espacio intermolecular en el que deben existir fuerzas que las mantienen unidas pueden ser puentes de hidrógeno.

En ese espacio no hay nada, aire.

Estudiantes de primer semestre

Entre las moléculas que componen el aire hay espacios vacíos.

Hay un enlace intermolecular de las moléculas.

Estudiantes de tercer semestre

Entre las moléculas debe haber aire. Vacío.

Ese vacío es muy pequeño, tomando en cuenta que las moléculas y los átomos son extremadamente pequeños también.

Estudiantes de quinto semestre

Entre las moléculas debe haber aire.

Espacio vacío.

Estudiantes de séptimo semestre

Nunca lo había pensado. No hay nada.

En realidad no hay nada, hay vacío.

Estudiantes de noveno semestre

Vemos pues que en algunos casos los modelos mentales de los alumnos no coinciden con los científicos. La dificultad de asimilar el concepto de vacío fue inicialmente marcada por Novick y Nussbaum (1978) y luego retomada por Llorens (1988) y Pozo *et al.* (1991, p. 134-135).

Modelo discreto III o electrónico. El átomo es considerado como la unidad básica que se conserva durante las transformaciones, es una partícula material compuesta por núcleo y electrones, y su comportamiento está regido por las leyes de la mecánica con relaciones de movimiento, energía y fuerza, así como las del electromagnetismo.

Esta teoría aparece sobre todo en las preguntas del cuestionario y de las entrevistas que tienen que ver con el contexto de emisión de luz y conductividad eléctrica.

A continuación introducimos citas textuales de los estudiantes que revelan el modelo electrónico que emplean:

(Al preguntarle qué sucede al explotar los fuegos pirotécnicos) Los colores que se observan durante el calentamiento de un gas se deben a que los electrones absorben energía que se transmite a los átomos que excitan sus electrones por lo que salen y regresan de su estado basal emitiendo cierta longitud de onda.

El movimiento de electrones es posible ya que los electrones de las últimas órbitas tienen menor fuerza de atracción hacia sus átomos.

Estudiantes de primer semestre

Al calentar el hidrógeno los átomos se excitan y sus electrones pasan a una órbita mayor, al regresar emiten fotones de luz de color que corresponde a una longitud de onda característica.

(Al preguntarle sobre las razones de la conductividad de los metales) La electricidad se conduce porque los electrones libres se mueven en el metal.

En el metal los electrones están deslocalizados y se pueden mover ya que en su estructura de valencia pueden pasar de un átomo a otro y formar un flujo de electrones.

Estudiantes de tercer semestre

Los electrones de la última capa absorben energía (de la explosión o el calentamiento) con lo que pasan a otro estado de mayor energía, cuando el electrón regresa a su estado inicial emite luz de cierto color que depende de la energía utilizada en el salto electrónico.

Existe un mar de electrones en la estructura del metal por el que los electrones saltan y se mueven formando la corriente.

Estudiantes de quinto semestre

Al aumentar la energía cambia el nivel de energía de los electrones en los átomos lo que produce las coloraciones.

Los electrones se mueven porque la batería es una bomba de electrones que hace que éstos fluyan por la superficie del metal, los electrones de la bomba empujan a los del metal, como una reacción en cadena.

Hay huecos vacíos en los orbitales de los átomos de los metales por los que pasa la corriente de electrones.

Estudiantes de séptimo semestre

El calor excita a los electrones de la capa de valencia del gas o metal de transición y hace que pasen de un estado de energía E_1 a otro de mayor E_2 , al regresar al estado inicial se emite luz con cierta frecuencia que está asociada a una longitud de onda a la que se absorben todos los colores menos el que emite.

La energía está cuantizada y los elementos de transición en su capa electrónica presentan orbitales d , cuya energía se desdobra y está asociada a una longitud de onda visible por lo que los movimientos de sus electrones producen color.

En el metal hay una red de átomos metálicos que están unidos y rodeados por una nube de electrones que facilita el flujo de la corriente que son cargas negativas que van del polo negativo al positivo.

Estudiantes de noveno semestre

Vemos que, a pesar de que los ejemplos de las frases estudiantiles reflejan en muchos casos incongruencia con los modelos científicos de un conductor metálico o de un átomo emisor de luz cuantizada, los alumnos van empleando los elementos del léxico adecuados, aproximándose sus modelos mentales a los modelos

Teoría de dominio continua	Teoría de dominio discreta		
Modelo conservativo	Modelo discreto I. Sustancialización	Modelo discreto II. Molecular	Modelo discreto III. Electrónico
Las explicaciones encontradas pueden agruparse en las siguientes categorías: <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento de la materia • Modificación de la materia • Distribución de la materia • Características de la materia 	La característica principal del modelo es que las macropropiedades se transfieren al micromundo.	<ul style="list-style-type: none"> • La molécula es la unidad que se conserva durante los procesos. • Los procesos están gobernados por las leyes de la mecánica. • En lo general, no hay concepto de vacío entre las moléculas. 	<ul style="list-style-type: none"> • El átomo es considerado la unidad básica que se conserva durante los procesos. Se le reconoce constituida por núcleo y electrones. • Los procesos están regidos por las leyes de la mecánica. • Tampoco hay una concepción generalizada de vacío entre los átomos.

científicos. Al igual que en el modelo anterior tampoco hay una concepción generalizada de vacío entre los átomos o al interior de los mismos.

A manera de síntesis presentamos un cuadro en donde se resumen las dos teorías de dominio encontradas y sus modelos correspondientes.

Conclusiones

Al igual que en los resultados de investigaciones con estudiantes de niveles más básicos aparecen dos tipos de representación de la estructura de la materia: continua y discreta. En nuestro caso las hemos designado como teorías de dominio ya que representan dos estructuras de interpretación con funcionalidad y que dan explicación a los fenómenos sobre los que se cuestiona.

- La teoría de dominio continua de la materia muestra la presencia de un modelo que se basa en la conservación de la materia. Las explicaciones de los estudiantes son referidas a la estructura interna de la materia, en categorías tales como desaparición, desplazamiento, modificación y distribución de la materia.
- Los tipos de argumentos de los estudiantes, dentro del modelo de conservación de la materia, emplean exclusivamente conceptos como presión, volumen, temperatura, masa o peso, y densidad para explicar los distintos fenómenos sobre el estado de la materia.

- Las ideas expresadas en la teoría discreta muestran tres tipos de modelos: uno donde se da una mezcla entre el vocabulario escolar y las representaciones de los estudiantes, en la que se asigna a las partículas las propiedades macroscópicas de la materia, un segundo en el que identificamos a la molécula como unidad elemental y un tercero en el que el concepto de átomo, con núcleo y electrones, es la base de la representación.
- Las teorías y modelos escolares son incorporados de manera parcial y desde la perspectiva de las ideas previas de los estudiantes. Esto ubica a las ideas de los estudiantes como representaciones en transición, esto es, incorporan elementos de los modelos de partículas aprendidos en la escuela que son interpretados desde su propio marco de concepciones alternativas. Encontramos en virtud de ello que, en primera instancia, las macropropiedades se transfieren al micromundo y que, en segunda instancia, el modelo cinético-molecular ha sido incorporado sólo parcialmente por algunos alumnos, teniendo varios de ellos problemas en asimilar su naturaleza dinámica y la existencia de vacío entre las moléculas.
- Las ideas relacionadas con contenidos sobre las teorías moleculares y electrónicas son utilizadas con mayor frecuencia y con un lenguaje más cercano a las concepciones científicas, por estudiantes de niveles escolares superiores, lo que muestra la influencia de la escolaridad en la construcción de representaciones.
- La no conceptualización del vacío entre moléculas y átomos muestra que los modelos discretos, en la mayoría de los estudiantes, se han construido de manera parcial, ya que es el vacío uno de los elementos indispensables para su comprensión. ▣

Referencias

- Albanese, A. y Vicentini, M. (1997). Why do we Believe that an Atom is Colourless? Reflections about the Teaching of the Particle Model, *Science & Education*, **6**, 251-261.
- Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its transformation (age 12-16). *Studies in Science Education*, **18**, 53-85.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. y Siberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, **63**, 64-66.
- Bodner G. M. (1991). I have found you an argument. The conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students. *Journal of Chemical Education*, **68**(5), 385-388.
- Carey, S., (1985); *Conceptual Change in Childhood*, Bradford Books, Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge Acquisition: Enrichment or Conceptual Change. En: *The Epigenesis of Mind. Essays of Biology and Cognition*. S. Carey y R. Gelman (eds.), Hillsdale, NJ: Erlbaum. p. 257-291.
- de Posada J. M. (1997). Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and their Electric Conductions: Structure and Evolution, *Science Education*, **81**, 445-467.
- de Vos, W. y Verdonk, A. H., (1987). A new road to reactions, part 4. The substance and its molecules, *Journal of Chemical Education*, **64**, 692-694.
- Dibar Ure, M. C. y Colinviaux, D. (1989). Developing adults' views on the phenomenon of change of physical state in water. *International Journal of Science Education*, **11**(2), 153-160.
- Gallegos, L. (2002). *Comparación entre la evolución de los conceptos históricos y las ideas de los estudiantes: El modelo de la estructura de la materia*, Tesis de doctorado en Pedagogía. México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Gallegos-Cázares, L. y Garritz, A. (2001). Epistemological Profile of Chemistry Students. Proceedings del 6th International History, Philosophy & Science Teaching Conference. Denver, Colorado USA, Kluwer. Versión en CD.
- Gentner, D. y Stevens, A. L. (editores) (1983). *Mental Models*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Greca, I. M. y Herscovitz, V. E. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario, *Enseñanza de las Ciencias*, **20**(2), 327-338.
- Haidar A. y Abraham, M. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(10), 919-938.
- Jonson-Laird, P.N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Karmiloff-Smith, A. (1991). Beyond Modularity: Innate Constraints and Developmental Change. En *The Epigenesis of Mind. Essays of Biology and Cognition*. S. Carey and R. Gelman (eds.). Hillsdale, NJ: Erlbaum. pp. 171-197.
- Llorens Molina J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*, **4**, 33-48.
- Nersessian, N., (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change. En: R. Giere (ed.) *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press. p 3-44.
- Novick, S. y Nussbaum, J. (1978). Junior High school pupils' understanding of the particle nature of matter: an interview study, *Science Education*, **62**(3), 273-281.
- Pozo, J.I., Gómez, M.A., Limón, M. y Sanz, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre química*. Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia.
- Renström, L.; Andersson, B. y Marton, F. (1990). Students' Conceptions of Matter, *J. Educ. Psych.*, **82**(3), 555-569.
- Trinidad-Velasco, R. y Garritz, A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia, *Educ. Quím.*, **14**(2), 72-85.
- Vosniadou, S. e Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view, *International Journal of Science Education* **20**(10), 1213-1230.