

Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia*

Rufino Trinidad-Velasco¹ y Andoni Garritz²

Abstract

We start with the multiple terms that have been used to characterize the student's ideas about natural phenomena, concluding that one of the best is that of 'alternative conceptions'. Then, we review the secondary students alternative conceptions on the structure of matter, informed in about twenty five years of active research. A conclusion is reached about the multiple recommendations that have been mentioned in the literature to face the problem of transforming or complementing these alternative conceptions into the scientific conceptions.

Introducción: El término de "concepciones alternativas"

En la actualidad es claro que en el proceso de enseñanza de las ciencias es necesario que el profesor cuente con información de lo que el alumno sabe al llegar al aula; así, la literatura sobre la didáctica de las ciencias tiene muy diversos estudios acerca de la comprensión de los estudiantes sobre los fenómenos naturales. Estos estudios han encontrado que inclusive antes de tener alguna enseñanza, los estudiantes cuentan con sus propios puntos de vista y explicaciones, así como un lenguaje propio; siendo todos ellos usualmente diferentes a los generados por los científicos. Osborne y Bell (1983), hacen una distinción entre lo que llaman la *ciencia de los estudiantes* y la *ciencia de los científicos*; con la primera se refieren a los puntos de vista acerca del mundo y los significados de las palabras que los estudiantes tienden a adquirir antes de que reciban alguna enseñanza de las ciencias de manera formal; con la segunda se refieren al punto de vista científico generalmente aceptado.

Los estudiantes, como los científicos, usan similitudes y diferencias para organizar hechos y fenó-

menos y, en la observación de éstos, buscan elementos y relaciones entre ellos para construir estructuras. Además, los estudiantes, como los científicos, reúnen hechos y construyen modelos para explicar hechos conocidos y hacer predicciones. Sin embargo, hay por lo menos tres aspectos en los cuales la *ciencia de los estudiantes* difiere de la *ciencia de los científicos*: 1) los estudiantes más pequeños tienen dificultad con las formas de razonamiento abstracto que los científicos llevan a cabo; 2) los estudiantes sólo se interesan en explicaciones particulares para hechos específicos, y, 3) el lenguaje diario de nuestra sociedad lleva frecuentemente a los estudiantes a tener un punto de vista distinto al de los científicos.

Por otro lado, también se piensa que los estudiantes traen a las clases de ciencia no sólo sus puntos de vista acerca del mundo y sus significados de las palabras, sino también sus propios métodos de investigación, sus propias ideas acerca de lo que constituyen explicaciones adecuadas, y su propia perspectiva sobre la ciencia. Todo esto influye profundamente sobre el aprendizaje, incluyendo la motivación para encontrar cómo y por qué las cosas se comportan como lo hacen (Osborne y Bell, 1983; Treagust, Duit y Nieswandt, 2000).

En el desarrollo de la enseñanza científica se ha ignorado, o se ha considerado de manera inadecuada, la existencia de la *ciencia del estudiante*. Hay dos suposiciones diferentes sobre las cuales la enseñanza de las ciencias se ha basado: la primera considera que el estudiante no tiene conocimiento del tema antes de que le sea formalmente enseñado, la suposición es que la "mente en blanco" del estudiante puede ser "llenada" con la ciencia del maestro; la segunda considera que aunque los estudiantes pueden tener algún punto de vista conceptual de un nuevo tema científico por enseñarle, esto tiene poca significación para el aprendizaje y puede ser reemplazado directa y fácilmente.

Una tercera suposición, más moderna y más realista, sobre la cual podría estar basada la enseñanza de las ciencias, es la que reconoce que los puntos de vista de la ciencia de los estudiantes son suficientemente fuertes de tal manera que éstos permanecerán y, aún más, tendrán una interacción con la

¹ Instituto de Educación Media Superior del D.F., Iztacalco, 08500, México, D.F.

Correo electrónico: rtvel_6510@yahoo.com

² Facultad de Química, UNAM. 04510 México, D.F.

Correo electrónico: andoni@servidor.unam.mx

* Recibido: 12 de noviembre de 2002; aceptado: 12 de febrero de 2003.

enseñanza de la ciencia (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982; Fensham, 1983).

Existe cada vez más evidencia de que la amalgama aprendida de la *ciencia de los estudiantes* y la *ciencia de los maestros* pueden coexistir en diversas proporciones. Los estudiantes “exitosos” usan la ciencia de los maestros cuando se les requiere en pruebas y exámenes, pero emplearán la ciencia de los estudiantes al tratar con muchas situaciones de la vida diaria.

Algunos estudios sugieren que los puntos de vista que los estudiantes traen consigo a las lecciones de ciencia son, para ellos, lógicos y coherentes, y que estos puntos de vista tienen una influencia considerable sobre cómo y qué aprenden los estudiantes de sus experiencias en el salón de clases. Según esto, la gente tiende a construir significados que son consistentes con el aprendizaje previo. El aprendizaje puede ser esperado y entendido en términos de lo que los estudiantes traen a la situación de aprendizaje, más cómo construyen el aprendizaje al relacionar ellos los estímulos de la clase con sus experiencias previas. Dicen Ausubel, Novak y Hanesian (1983), la manera de mejorar el aprendizaje es “averiguar lo que el aprendiz ya sabe y enseñarle de acuerdo con ello”.

Por lo tanto, la enseñanza de las ciencias debe considerar una reestructuración de las ideas previas del estudiante, más que una simple adición de información al conocimiento existente. En consecuencia, es importante tener la información sobre las ideas que el estudiante trae al salón de clases en la enseñanza de las ciencias, las ideas previas que ellos manejan derivadas de sus experiencias anteriores. En la literatura existen varios trabajos de revisión al respecto (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Furió, 1996).

A este conocimiento con que el alumno interpreta y explica los hechos y fenómenos naturales, se le ha asignado una gran variedad de términos, tales como: nociones, ideas previas, concepciones o creencias de los alumnos, conceptos erróneos, fallos de comprensión, errores conceptuales, preconcepciones, ciencia de los niños, creencias ingenuas, ideas erróneas, teorías culturales, modelos personales de la realidad, etcétera (Fensham, 1983; Jiménez, Solano y Marín, 1994; Wandersee, Mintzes y Novak, 1994).

Cada uno de estos términos implica una toma de postura desde un punto de vista teórico respecto a la construcción del conocimiento; así, pueden ubi-

carse dos enfoques diferentes: uno, centrado en el conocimiento científico que toma como referencia los modelos científicamente aceptados; otro, centrado en el conocimiento de los sujetos, cuya atención se focaliza en la naturaleza de las concepciones de las personas. Sin embargo, actualmente existe coincidencia en que ambos enfoques tienen características que se superponen y la división no es tan drástica, de tal manera que las distintas denominaciones han sido empleadas como sinónimas (Rodríguez, 1999).

De acuerdo con esto, cada vez un mayor número de investigadores ha adoptado el término “concepciones alternativas” para designar el conocimiento que el estudiante trae al aula, por considerar que no sólo se refiere a las explicaciones construidas por el estudiante basadas en la experiencia, para hacer inteligibles los fenómenos y objetos naturales, sino que también expresa respeto al estudiante, ya que implica que las concepciones alternativas son contextualmente válidas y racionales, y por otro lado tiene como fondo una visión interactiva y evolutiva del proceso de aprendizaje: ya que pueden llevar a concepciones más fructíferas —por ejemplo, las concepciones científicas (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Furió, 1996). Además, el término *concepción* es uno de los más neutrales e indica cómo el sujeto construye una representación mental del mundo que le permite entender el entorno y actuar de forma apropiada, y el adjetivo *alternativa* establece una distinción con las concepciones científicas y, al mismo tiempo, concede a la concepción derecho propio, entidad en sí misma (Rodríguez, 1999). Por estas razones, en este trabajo se adopta este término.

En las investigaciones realizadas por lo menos en las últimas dos décadas, las concepciones alternativas tienen toda una serie de características especiales (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994): los estudiantes acuden a la enseñanza de las ciencias con un conjunto diverso de concepciones alternativas respecto a los hechos y objetos naturales; éstas son permeables a la edad, la capacidad, el género y las fronteras culturales de los estudiantes; son resistentes al cambio mediante estrategias de enseñanza tradicionales; guardan semejanza con explicaciones de fenómenos naturales ofrecidas por generaciones previas de científicos y filósofos; tienen su origen en un conjunto diverso de experiencias personales, incluyendo la observación directa y la percepción, así como las explicaciones de los profesores y de los materiales instruccionales; los profesores a menudo tienen las mismas concepciones alternativas que los

estudiantes; las concepciones alternativas de los estudiantes interactúan con las presentadas durante la instrucción, dando como resultado muy diversos resultados de aprendizaje.

Las concepciones alternativas sobre la estructura de la materia

En la literatura existe una gran cantidad de trabajos respecto a las concepciones alternativas que mantienen los estudiantes en el área de la química (Pozo, Gómez-Crespo, Limón y Sanz, 1991; Garnett y Hackling, 1995; Gómez Crespo, 1996; Pfund y Duit, 1998; Barker, 2000). Dentro de estos trabajos se encuentran los que tratan con la estructura de la materia (Novick y Nussbaum, 1978, 1981; Nussbaum y Novick, 1982; Nussbaum, 1985; Llorens, 1988; Andersson, 1990; Renström, Andersson y Marton, 1990; Haidar y Abraham, 1991; Gabel y Bunce, 1994; de Vos y Verdonk, 1996; Pozo, Gómez y Sanz, 1999; Benarroch, 2000 a y b, 2001; Gallegos, 2002), un tema muy estudiado ya que se encuentra en cualquier currículo del nivel medio, así como por su importancia para la comprensión de otros temas de la química y su relevancia social (Andersson, 1990). En este trabajo se pretende realizar una revisión de los estudios que se han llevado a cabo sobre las concepciones alternativas de los estudiantes de nivel medio sobre la estructura de la materia y las recomendaciones planteadas para su transformación o complementación.

Todos los estudios al respecto 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 dirigido hacia lo concreto y observable. Los alumnos no alcanzan a dar explicaciones a los fenómenos naturales. Suceden así “porque sí”. Ante la observación de que el aire es comprimible y el agua líquida no, algunos estudiantes dirán: “Es así. El aire se puede apretar y el agua no”.

Cuando los alumnos trascienden esta 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 las cuales muchas veces mantienen algunas características de la materia en su conjunto. Es decir, si la materia es

de color ocre, esto sucede porque sus partículas son ocreas también (Albanese y Vicentini, 1997); si la materia se expande al pasar al estado gaseoso, ello ocurre porque las partículas se expanden igualmente; si un metal es maleable, ello sucede porque los átomos que lo constituyen también lo son (Ben-Zvi, Eylon y Silberstein; 1986). Como vemos éste es un modelo 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.

Por otro lado, en el pensamiento científico, la materia es concebida como discreta y dinámica, y entre las partículas hay espacios vacíos; las partículas dinámicas son consideradas como un modelo relacionado al mundo observable de una manera hipotético-deductiva (Andersson, 1990).

Analizaremos por separado las dos concepciones alternativas de los alumnos: la concepción continua y la concepción discreta.

La concepción continua

En esta concepción la materia no tiene una estructura microscópica. La materia está constituida por un continuo y las explicaciones acerca de los fenómenos se presentan mencionando las variables macroscópicas asociadas a esa característica continua de la materia: su masa o peso, su densidad, su estado de agregación, etcétera. La idea de que el agua o la sal tengan una estructura interna es algo que no tiene sentido para los alumnos (Renström, Andersson y Marton, 1990). Gómez Crespo (1996) es de la opinión de que los estudiantes en la secundaria, e incluso en la universidad, utilizan en muy poca proporción el modelo corpuscular de la materia y, cuando lo hacen, lo utilizan en una proporción muy elevada de forma errónea. En general, dice, “la mayoría de los alumnos y alumnas recurren a respuestas en las que describen el fenómeno a partir de las propiedades macroscópicas de la materia, más cercanas a las dimensiones «físicas» del mundo *real*, frente a las microscópicas del modelo corpuscular”.

Novick y Nussbaum (1978) se propusieron conocer la estructura de las concepciones de los alumnos israelitas (13-14 años), para lo cual usaron un método de entrevista, la cual incluyó tres fenómenos diferentes que involucraban a la fase gaseosa y el desarrollo de ocho tareas, hallando, entre otros aspectos respecto a las opiniones de los alumnos, que el aire no se asienta en el fondo de un recipiente debido a su gravedad específica baja; aspecto que va de acuerdo

con una concepción continua de la materia. En otro trabajo, Novick y Nussbaum (1981) dicen que si bien los estudiantes llegan a decir que el aire está hecho de partículas invisibles, ellos no han abandonado realmente su concepción continua de la materia. Cuando se les pide, por ejemplo, dibujar una “imagen completa” de la estructura interna del aire, probablemente ellos llenan los espacios entre las partículas hasta que llega a ser una imagen continua de puntos.

Por su parte, Andersson (1990) realiza una revisión de los estudios sobre la estructura de la materia y sus transformaciones y le da estructura y discute toda la información que se ha encontrado hasta ese año. Él también pone énfasis en que en el pensamiento cotidiano, los alumnos conciben a la materia como continua y estática, sin vacío. Sin embargo, considera que la idea del continuo no debe tomarse como “incorrecta”, sino como un modelo de materia, ya que, en la mecánica de materiales, por ejemplo, se supone que la materia es continua.

En su revisión, Andersson distingue cinco categorías de respuestas, o modelos de transformación de la materia (cambio químico), que luego aprovecha para describir los estados de agregación, las transformaciones de fase y la conservación de la cantidad de sustancia:

- **Desaparición.** Literalmente, algunos alumnos piensan que la materia desaparece cuando, por ejemplo, se evapora un charco o se solubiliza azúcar en agua. Aunque los alumnos conciben que las sustancias no pueden cambiar sus cualidades, pueden aparecer de la nada o desaparecer sin dejar huella (Renström, Andersson y Marton, 1990).
- **Desplazamiento.** Se refiere a un cambio de posición de la sustancia, no a su desaparición.
- **Modificación.** Implica que una sustancia retiene su identidad mientras algunas de sus propiedades sí cambian.
- **Transmutación.** Éstas corresponden a concepciones estudiantiles que serían prohibidas en química, como por ejemplo que una sustancia se transforme parcialmente en energía o que se transforme en otra sustancia sin considerar que contenga el mismo tipo de átomos (por ejemplo, que el hierro se transforme en carbón al oxidarse).
- **Interacción química.** Corresponde a las concepciones realmente científicas sobre el cambio químico.

Así, los alumnos explican las reacciones químicas con los modelos de desaparición, desplazamiento, modificación y transmutación. Hay que decir que estas explicaciones son ‘compatibles’ con la concepción continua y estática de la materia.

Gallegos y Garritz (2003) encuentran que un 14.8% de los alumnos universitarios responden con frases de orden general, sin mencionar nada acerca de partículas de materia, incluso cuando se les pide responder a las preguntas con base en la estructura corpuscular de la materia. Este dato corresponde al 23% en el caso del estudio de Haidar y Abraham (1991), con muchachos del bachillerato.

Así, el pensamiento de la vida diaria de nuestros alumnos concibe primeramente la materia como continua y estática; donde no existe el vacío. El pensamiento se dirige hacia lo concreto y observable. Los modelos de desaparición, desplazamiento, modificación y transmutación, pueden verse como un caudal de ideas compatible con este marco.

La concepción discreta

La concepción corpuscular de la materia se ha estudiado desde diferentes aspectos, como las fases en que se encuentra, los cambios de fase, las reacciones químicas, las disoluciones, la difusión, la efusión, la conductividad eléctrica y la emisión de luz, entre otras.

En cuanto a las concepciones de los alumnos sobre los átomos, moléculas y sistemas de partículas, los resultados indican que éstos conciben la unidad más pequeña de la materia como el estado final en un proceso de división (Pozo, Gómez-Crespo, Limón y Sanz, 1991). De acuerdo con esto, no es sorprendente que proyecten propiedades macroscópicas sobre los átomos y las moléculas; por ejemplo, dicen que si el fósforo es amarillo, entonces los átomos de fósforo son amarillos, si el naftaleno huele, entonces las moléculas de naftaleno huelen; y así, sucesivamente. La proyección de las macropropiedades sobre el micromundo también se observa cuando se discuten las transformaciones de la materia. Esto significa que los modelos de desaparición, desplazamiento, modificación y transmutación, son aplicados a los átomos y moléculas. En general, los resultados descritos pueden interpretarse como indicativos de un conflicto entre, o una mezcla de, la concepción ‘continua, estática, sin vacío’ y la ‘corpuscular, dinámica, de vacío’.

En su primer trabajo, Novick y Nussbaum (1978) encontraron que los alumnos asimilan menos los

aspectos del modelo corpuscular de la materia que más se alejan de su percepción sensorial: 1) el espacio vacío, 2) el movimiento intrínseco y 3) la interacción entre las partículas. Los resultados más notables de este par de autores son:

1. Un 64% de los estudiantes sugirieron espontáneamente que los gases están compuestos de partículas invisibles.
2. La tarea de explicar el “llenado del espacio disponible” por un gas lleva a una concepción corpuscular real de la materia. Si se concibe ese llenado del espacio entonces se puede afirmar que no existe una concepción continua de la materia, sino definitivamente una discreta. Estos investigadores encontraron que uno de cada seis alumnos que hablaron de partículas en las respuestas creyeron que las partículas no estaban homogéneamente distribuidas en el espacio, sino que se encontraban concentradas en alguna región.
3. Sólo un 35% de los alumnos contestó afirmativamente acerca de la existencia del vacío entre las partículas. Sin embargo, la gran mayoría de los alumnos “llenan” el espacio con más partículas, polvo, aire, etcétera.
4. Alrededor de 40% de la muestra conciben que las partículas están en continuo movimiento en la fase gaseosa.

En su siguiente trabajo, Novick y Nussbaum (1981) realizan un estudio evolutivo sobre el mismo tema, trabajando con alumnos desde nivel básico hasta estudiantes universitarios, hallando nuevamente que los aspectos más difíciles para los estudiantes fueron el concebir la existencia del vacío, el movimiento intrínseco de las partículas y las interacciones entre las mismas.

En 1984, Brook, Briggs y Driver llevaron a cabo un estudio con 300 alumnos ingleses de 15 años, el cual se denominó CLIS por las palabras inglesas para “El Aprendizaje de las Ciencias por los Niños”. En él encontraron, entre otras muchas cuestiones, que:

1. Más del 50% de los estudiantes empleaban el concepto de partícula, sin necesariamente comprender elementos adicionales del modelo.
2. En el mejor de los casos uno de cada cinco estudiantes daban respuestas parcialmente completas basadas en las ideas aceptadas científicamente sobre las partículas (esta proporción se

incrementaba a uno de cada tres para los alumnos que habían cursado física o química).

3. Al menos uno de cada tres alumnos utilizaban ideas alternativas sobre las partículas (concepciones mixtas), como que las partículas se expanden y se contraen, que las partículas se vuelven calientes al calentar el material, o, inclusive, que las partículas se comportan como seres animados.
4. Alrededor de uno de cada cuatro estudiantes dieron respuestas que no tenían que ver para nada con la existencia de partículas.

Brook *et al.* (1984) encontraron que una proporción significativa de estudiantes de 15 años usaron fuerzas atractivas entre las partículas de un gas para explicar la presión del aire. Algunos estudiantes sugieren que la magnitud de las fuerzas depende de la temperatura. Otros estudiantes manifestaron que entre las partículas del estado sólido no existen fuerzas; en el reporte no se indica si estos últimos estudiantes también piensan que existen fuerzas entre las partículas de un gas. Sin embargo, en otros estudios, según Barker (2000), se informa que los estudiantes no aplican de manera consistente sus ideas a los diferentes problemas, ya que el mismo estudiante puede imaginar que entre las partículas de un gas, estas fuerzas están presentes, pero no entre las partículas de una sustancia sólida.

De acuerdo con Barker (2000), el proyecto CLIS informa que más de la mitad de la muestra usó ideas corpusculares de manera consistente, como respuesta a un amplio intervalo de preguntas que cubrieron los estados sólido, líquido y gaseoso. En otro estudio realizado con estudiantes de 11-14 años, se encontró que después de una instrucción de dos años, la mayoría de ellos cambian sus ideas al modelo corpuscular de la materia, incluyendo aspectos científicamente correctos.

Nussbaum (1985) hace una revisión de cuatro estudios sobre la comprensión de los alumnos sobre la naturaleza corpuscular del estado gaseoso, realizados en tres diferentes países y que involucraron a alumnos de un amplio intervalo de edades. Él encuentra que, si bien más del 50% y hasta el 78% de los alumnos pueden usar ideas corpusculares para describir la estructura del estado gaseoso, solamente de 20 a 40% puede concebir la noción de espacios vacíos entre las partículas del gas y que éstas tienen un movimiento intrínseco. Nussbaum también señala que en un estudio realizado en Inglaterra con una

muestra de 300 estudiantes de 15 años, más del 50% empleó ideas corpusculares para responder preguntas acerca de la materia, sin que esto necesariamente signifique que comprenden elementos esenciales del modelo cinético molecular. En este estudio, por lo menos uno de cada cinco estudiantes usó ideas corpusculares alternativas (concepciones mixtas).

En otra parte, Nussbaum menciona que aun cuando se emplee una estrategia de enseñanza alternativa a las tradicionales, las concepciones alternativas persisten. En este sentido, es importante reconocer que los conceptos de la teoría corpuscular son constructos intelectuales basados en varias suposiciones que van más allá de la observación directa. Una suposición importante que puede encontrarse en la teoría cinético molecular, es que el comportamiento cinético de las partículas hipotéticas es análogo en muchos aspectos al comportamiento mecánico de los cuerpos; sin embargo, los alumnos estudian las ideas corpusculares generalmente antes que la mecánica newtoniana. Así, usan concepciones alternativas que tienen características de una forma de pensamiento aristoteliana (características de los seres vivos en los no-vivos, un lugar natural de las sustancias, el vacío es imposible, etcétera).

Gabel, Samuel y Hunn (1987) hacen un estudio con candidatos a ser profesores de la educación primaria, y encuentran que todo un conjunto de concepciones alternativas de los alumnos son repetidas por dichos pre-profesores, hayan tomado o no un curso de química en su bachillerato:

- En un máximo de tres de las catorce preguntas del cuestionario ponen un número de partículas diferente al del diagrama inicial; es decir, existen problemas respecto a la conservación del número de partículas.
- Colocan los átomos más grandes conforme se transforma un líquido en un gas, en lugar de alejar las partículas cada vez más.
- Añaden líneas para mostrar el nivel de los líquidos en lugar de dejar que sean las partículas de más arriba las que señalen el límite del líquido.
- Dibujan las partículas en los gases en una forma ordenada, más que desordenada.
- Después de que una molécula se ha descompuesto, muestran las partículas en grupos intactos, en lugar de en grupos más pequeños de átomos.

Un trabajo pionero en los países de habla hispana aparece en 1988, escrito por Juan Antonio Llorens,

en el que entrevista a 606 alumnos de entre 17 y 18 años. En este estudio Llorens incluye una pregunta acerca de qué existe entre las moléculas de un gas, cuyas respuestas resultan ser sorprendentes, como vemos en la tabla 1.

Gallegos y Garritz (2003) encontraron una respuesta similar entre estudiantes universitarios de química.

Otro punto en los que se dan concepciones alternativas es el referente a las distancias entre las moléculas en las diferentes fases de las sustancias. Respecto a las observaciones que se han realizado de las concepciones de los alumnos sobre sistemas de conjuntos de partículas, en el trabajo de Andersson (1990) se informa que algunos estudiantes (después de haber tomado lecciones sobre la naturaleza corpuscular de la materia) dibujan sistemas corpusculares de las fases sólida, líquida y gaseosa de forma tal que las distancias relativas entre dos partículas adyacentes son 1: 2-3: 6-7 (tomando como unitaria la distancia en la fase sólida), cuando las proporciones correctas son 1: 1: 10.

La propuesta de Haidar y Abraham (1991) se centra en las concepciones de 183 alumnos del bachillerato alrededor de los conceptos de disolución, difusión, efusión y estados de la materia. Dividen las concepciones de los estudiantes en cinco grandes rubros:

- 1) No respuesta (NR).
- 2) General (G), respuestas que no incluyen el uso de partículas.
- 3) Partículas, en general, (PG) que incluyen las respuestas incorrectas en las que los alumnos usan términos de partículas diferentes a átomos y moléculas.
- 4) Partículas específicas (PE), donde los alumnos emplean las palabras átomos o moléculas, pero que no son compatibles con la concepción científica, y

Tabla 1. Respuestas a la pregunta: Si representamos todas las partículas de los distintos gases que componen una pequeña muestra de aire como puntos en un diagrama, ¿qué crees que hay entre estas partículas?

a) Hay aire entre las moléculas	22.6%
b) Otros gases	34.8%
c) Nada	22.1%
d) Una sustancia muy ligera que lo rellena todo	13.4%
e) No lo sé	6.4%

- 5) Partículas correctas (PC), reuniendo bajo este rubro a las concepciones que van de acuerdo con la concepción científica.

En la tabla 2 hemos colocado los porcentajes de las respuestas de acuerdo con cada uno de estos rubros para cada uno de los conceptos explorados por Haidar y Abraham.

Pozo, Gómez Crespo, Limón y Sanz (1991) integran en un libro las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la química, dedicando toda una sección a las ideas de los alumnos sobre la estructura de la materia. Opinan que las nociones fundamentales que el alumno debiera adquirir durante la enseñanza secundaria son:

- La materia está constituida por partículas.
- Entre las partículas hay vacío.
- La velocidad media de las partículas aumenta al elevar la temperatura y disminuye al descender la misma.
- Las partículas de una misma sustancia conservan su forma y tamaño.
- En los gases, las partículas:
 - Están muy separadas y, en comparación con su tamaño, las distancias entre ellas son grandes.
 - Están desordenadas.
 - Se mueven más rápidamente que en los líquidos y en los sólidos.
- En los líquidos, las partículas:
 - Están menos separadas que en los gases, pero más que en los sólidos.
 - Están menos desordenadas que en los gases, pero más que en los sólidos.
 - Se mueven con menor velocidad que en los gases, pero más que en los sólidos.
- En los sólidos, las partículas:
 - Están muy próximas.

- Están ordenadas.
- Vibran, en vez de moverse.

Llegan a la conclusión de la notable dificultad para que el alumno adquiera este nuevo marco interpretativo de la realidad. Las concepciones alternativas de los alumnos son difíciles de cambiar, aun cuando ellos se introduzcan a cursos de química posteriores a la secundaria. Dicen que ‘no parece que el deseado cambio conceptual pueda lograrse en un limitado número de sesiones, sino que parece ser un cambio a largo plazo que sólo cobra sentido dentro de un currículo vertical’. Sin embargo, aceptan que las ideas estudiantiles van paulatinamente prosperando hacia la concepción científica, en una buena parte de los casos.

Gabel y Bunce (1994) resumen las concepciones alternativas publicadas hasta ese momento en la literatura. Llegan a la conclusión de que las siguientes ideas científicas no son ideas intuitivas de los estudiantes y que les cuesta mucho trabajo acceder a ellas: Que la materia está hecha de partículas, que esas partículas están en movimiento y que una colección de partículas tiene propiedades diferentes que una sola partícula.

Garnett y Hackling (1995) en un trabajo que realizan con la finalidad de proporcionar una revisión más amplia de la literatura sobre las concepciones alternativas que mantienen los estudiantes de nivel medio sobre diferentes temas de química, dividen éstas en seis grupos: la naturaleza corpuscular de la materia; enlace covalente, moléculas y fuerzas intermoleculares; ecuaciones químicas; equilibrio químico; ácidos y bases; oxidación y reducción, y electroquímica.

Respecto a la naturaleza corpuscular de la materia, las concepciones alternativas de los estudiantes se agrupan en áreas amplias:

- la naturaleza y características de las partículas;
- el espacio entre las partículas y la forma en que están dispuestas;
- las moléculas en las diferentes fases, y
- cambios de fase y los efectos de la temperatura.

Se observa que muchas de las concepciones alternativas identificadas en este trabajo están asociadas con las dificultades que tienen los estudiantes para visualizar la materia en términos de un modelo corpuscular.

Borse, Lumbaca y Pentimali (1996) muestran que cuando los estudiantes explican la evaporación

Tabla 2. Porcentajes de respuestas en cada rubro.

Concepto	NR	G	PG	PE	PC
Disolución	1.1	44.1	17.5	37.2	0.2
Difusión	1.1	41.5	11.5	33.3	12.6
Efusión	7.7	68.9	1.6	10.9	10.9
Estados de la materia	2.7	53.6	1.6	7.7	34.4
Promedio	3.1	52.0	8.1	22.3	14.5

de una sustancia, solamente el 56% de ellos opina que la composición de la sustancia permanece constante. Es decir, prácticamente la mitad de la muestra opina que la sustancia cambia durante el proceso de evaporación. Resultados similares habían sido obtenidos por Stavy (1990) quien explora la evaporación de la acetona y la sublimación del yodo. En el caso de la acetona una alta proporción de los alumnos opina que la sustancia desaparece al evaporarse, cuestión que no sucede con el yodo, debido al color violáceo del gas después de la sublimación.

Algunos años más tarde, Johnson (1998) analizó con niños ingleses de la secundaria (11-14 años) cambios en la construcción de modelos y encontró que los niños tienen una pobre idea acerca de las partículas y si mencionaban la palabra, lo hacían atribuyéndole características macroscópicas. Resume en cinco puntos las ideas que reflejan la naturaleza de la materia y sus características:

1. El espacio relativo entre las partículas es menor en los sólidos, que en los líquidos, que en los gases.
2. Los alumnos muestran poca apreciación sobre el movimiento intrínseco de las partículas.
3. Pocos niños mencionan la existencia de fuerzas de atracción entre las partículas.
4. La idea de que el vacío se encuentra entre las partículas en el estado gaseoso causa dificultades entre los estudiantes.
5. Muchos niños atribuyen propiedades macroscópicas a las partículas individuales.

Por su parte, Barker (2000) hace un trabajo ampliamente documentado sobre las ideas alternativas de los estudiantes en la química; este trabajo es dividido en once áreas conceptuales, dentro de las cuales se ubican: estados de la materia; teoría corpuscular y cambios de estado. Ella informa que los estudiantes de nivel medio no usan tan fácilmente ideas abstractas tales como las de las partículas para responder preguntas acerca de las propiedades de la materia, de tal manera que el pensamiento de que las sustancias son continuas persiste. Reporta que hay sugerencias de que los estudiantes no necesitan usar ideas corpusculares ya que su propia teoría de la materia ha trabajado perfectamente bien para ellos.

Entrevistando de manera individual a 43 estudiantes de distintas edades (9-22 años) y niveles cognoscitivos, para analizar su capacidad de dar explicaciones corpusculares de la materia, Bena-

rroch (2000 a y b) encuentra cinco niveles explicativos en la construcción del conocimiento, los cuales sintetiza como se muestra en la tabla 3.

Menciona que los alumnos de 12-13 años son los que presentan un espectro más amplio de niveles explicativos. Las diferencias siguen siendo importantes hasta los 16-17 años, lo que sugiere la especial dificultad para la enseñanza-aprendizaje de la modelización en la educación secundaria.

Gallegos (2002) encuentra un paralelo histórico con las concepciones alternativas de los estudiantes universitarios. Toma como base las tres revoluciones científicas que ha sufrido la química, según Jensen (1998 a,b,c): la molar, la molecular y la electrónica, y las asocia con las concepciones alternativas de los estudiantes, construyendo perfiles de modelos que se transforman conforme avanza la educación universitaria de los estudiantes (Gallegos y Garritz, 2003).

Estrategias docentes sobre la enseñanza de la estructura de la materia

Recogemos en esta sección las opiniones de varios autores respecto a las acciones que han decidido implantar para mejorar la comprensión de los estudiantes sobre el tema de la estructura de la materia. Son pocos los investigadores que van más allá de enunciar las concepciones alternativas de los alumnos y se deciden programar, aplicar y evaluar acciones correctivas.

Andersson (1990) dedica la mitad de su artículo sobre las concepciones alternativas acerca de la estructura de la materia a recopilar algunas implicaciones para la enseñanza y para comentar algunos proyectos con 'nuevas formas de enseñanza' de los años ochenta del siglo pasado.

Tabla 3. Niveles explicativos en la construcción del conocimiento sobre la estructura de la materia, según Benarroch.

I. No hay esquemas explicativos directamente relacionados con lo microscópico. Sus esquemas son exclusivamente continuos.
II. Primeras explicaciones microscópicas fundamentadas en elementos percibidos (burbujas, huecos, partículas, etcétera).
III. Explicaciones corpusculares con huecos entre partículas (huecos llenos de materia).
IV. Explicaciones corpusculares con vacío entre partículas (huecos vacíos).
V. Explicaciones corpusculares con vacío, movimiento e interacciones entre partículas.

El proyecto CLIS, por ejemplo, de Brook, Briggs y Driver (1984) está dedicado a la formación de profesores a partir de la asesoría del grupo de investigación del Centro de Estudios en Educación en Ciencias y Matemáticas de la Universidad de Leeds, Inglaterra. Se hace énfasis en la naturaleza hipotética y el desarrollo de la teoría de partículas, a través de cuatro grandes pasos que tienen que ver con el constructivismo y la teoría del cambio conceptual:

1. Extraer al grupo de alumnos sus concepciones alternativas.
2. Proveer experiencias re-estructurantes.
3. Proveer oportunidades para aplicar las nuevas ideas.
4. Revisar cualquier cambio que se presente en las ideas de los alumnos.

Por su parte, el proyecto MAM, 'Materia y Moléculas', fue presentado por el grupo de la Universidad del Estado de Michigan formado por Berkheimer, Andersson y Blakeslee (1988) y aplica un método de enseñanza consistente en cinco pasos, basado en la técnica de resolución de problemas:

1. Establecimiento del problema. Convencer a los estudiantes de que ellos estarán trabajando sobre cuestiones interesantes sobre las cuales todavía no conocen las respuestas.
2. Modelado. Mostrar a los estudiantes cómo proceden los expertos a resolver el problema.
3. Entrenamiento. Dar a los alumnos oportunidades de resolver el problema mediante la exploración del andamiaje de pasos para lograrlo.
4. Desvanecimiento. Continuar la práctica, de tal forma que la cantidad de apoyo se vea gradualmente reducida, hasta que se desvanezca.
5. Mantenimiento. Proveer oportunidades para que los alumnos apliquen los conceptos y estrategias aprendidas para resolver otros problemas en otros tiempos.

Según Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer y Blakeslee (1993) este proyecto MAM fue diseñado para ayudar a los estudiantes a:

- 1) Integrar el conocimiento científico con sus concepciones existentes.
- 2) Utilizar el nuevo conocimiento conforme ellos describen, explican y predicen fenómenos del mundo real.

Estos autores emplearon un libro de ciencia (el libro del alumno), un libro de actividades y las guías para los profesores tanto del libro de ciencia como del de actividades. Emplearon también pruebas de lápiz y papel, entrevistas clínicas, observaciones de clases seleccionadas y retroalimentación con los profesores. Obtienen como conclusión que los alumnos de sexto grado de la enseñanza elemental tienen grandes dificultades para comprender los aspectos fundamentales de la materia y las moléculas: *que la materia está constituida de pequeñas partículas, llamadas moléculas, que están en constante movimiento*. Los resultados alertaron a los profesores y a los investigadores que muchos estudiantes aprendieron a utilizar un lenguaje 'molecular' como un barniz, sin cambiar sustancialmente sus concepciones originales sobre la materia.

No obstante, los resultados del estudio de Novak y Musonda (1991) alientan a que los niños a quienes se ha impartido, a una edad joven, una introducción cuidadosamente controlada de concepciones científicas más bien complejas, tienen un marco conceptual más adecuado para los cursos posteriores. Años antes, Mitchell y Kellington (1982) concluyen que el sexto grado de la enseñanza elemental es el mejor momento para empezar el estudio de la estructura corpuscular de la materia. También concluyen que hasta antes del sexto grado no se debe avanzar más allá de los cambios de fase, con una presentación del tema de una forma concreta. Como vemos, existen posiciones contrapuestas en cuanto a la bondad de los resultados obtenidos.

Según Pozo, Gómez, Limón y Sanz (1991) los tres núcleos conceptuales que el alumno debe dominar para comprender la química son:

- La comprensión de la naturaleza discontinua de la materia. Estamos de acuerdo con estos autores en que no concebir la naturaleza corpuscular es una limitación fundamental para el aprendizaje de la química.
- La conservación de propiedades no observables de la materia. La materia puede sufrir transformaciones que habitualmente se clasifican como cambios físicos o químicos. En los primeros se conservan las sustancias que intervienen, se mantiene su identidad y no cambia su estructura microscópica. Mientras tanto, en los cambios químicos la identidad de las sustancias que participan se modifica, cambiando por lo tanto su estructura microscópica.

- La cuantificación de relaciones. Ésta se entiende como la representación cuantitativa de las leyes físico-químicas y su aplicación práctica.

Con relación al primer punto, el obstáculo fundamental para los estudiantes subyace en la representación de lo no observable. En la medida en que el alumno debe abandonar los indicios perceptivos como fuente de representaciones con respecto a la estructura de la materia, carece de ningún otro código de representación alternativo. Dicho en otras palabras, si las imágenes que el alumno recibe del mundo no son suficientes para que comprenda la estructura de la materia, el papel de la enseñanza es proporcionarles sistemas de representación alternativos que les permitan conocer su naturaleza. Parece ser que los sistemas proposicionales que se les proporcionan —matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos—, junto con una utilización muy escasa de representaciones analógicas —basadas en imágenes—, no resultan suficientes. De ser cierta esta interpretación, se precisaría un esfuerzo en la elaboración de sistemas de representación alternativos para la didáctica de la química, no sólo analíticos o proposicionales, sino fundamentalmente analógicos. Así, la analogía debe desempeñar una labor especial en la enseñanza de las ciencias y muy especialmente en el caso de la química.

En su estudio sobre los niveles explicativos en la construcción del conocimiento sobre la naturaleza corpuscular de la materia, Benarroch (2000 b) encuentra que los esquemas iniciales de los alumnos sufren una evolución importante con el desarrollo y con el aprendizaje, aunque no se sabe qué cambios se deben a la interacción física y social con el medio y cuáles a la instrucción específica. Sin embargo, encuentra que la instrucción sobre lo que piensan los científicos favorece los cambios conceptuales de los niveles originales (ver el párrafo correspondiente antes del inicio de esta sección) a los contiguos superiores, pero esto es cierto cuando la ‘distancia’ entre niveles es de carácter cualitativo, ya que cuando la barrera que los intercepta es de carácter general, el cambio conceptual resulta más difícil y quizá sólo posible a más largo plazo.

Benarroch (2001) dice que realizando un análisis minucioso de la abundante bibliografía sobre concepciones de la naturaleza corpuscular de la materia, se encuentran contradicciones y cuestiones sin responder. Algunas de éstas, dice, se podrían deber a la ausencia de estudios evolutivos que mostraran cómo

se desarrolla el conocimiento de los alumnos en esta área específica. También podrían deberse a la ausencia de marcos teóricos que, haciendo uso de la psicología cognoscitiva, permitieran pasar de la descripción de los niveles de conocimiento a su interpretación en términos de constructos no observables de la cognición humana. Su hipótesis es que esta forma de actuar permite alcanzar implicaciones didácticas fundamentadas.

Dentro de otros aspectos, los resultados de su estudio cognitivo o de desarrollo sugieren objetivos diversificados para la educación primaria y para la secundaria. Así, para la primera podría pretenderse el desarrollo cognoscitivo desde el punto de vista macroscópico. En la secundaria se procuraría el cambio a través de los niveles III, IV y V de realización cognoscitiva (ver la tabla 3). En este caso, dice que, más que pretender un cambio o reestructuración súbita, se requiere de una revisión lenta del sistema conceptual inicial a través de la incorporación, coordinación y diferenciación gradual de esquemas.

Vanessa Barker (2000) incluye una sección acerca de ‘implicaciones para la enseñanza’ después de la descripción de cada concepción alternativa. Por ejemplo, en el tema de la naturaleza corpuscular de la materia sugiere las siguientes ideas para prosperar en alcanzar las concepciones científicas:

1. Usar preguntas diagnósticas para fomentar que los alumnos hablen de sus concepciones.
2. Emplear las respuestas de los alumnos a esas preguntas para iniciar la enseñanza, mostrando las inconsistencias que tienen las ideas sin partículas de forma explícita.
3. Presentar nuevos materiales y demostraciones o experimentos que empleen el modelo de partículas explícitamente.
4. Reforzar las nuevas ideas consistentemente en todas las oportunidades que se presenten en la clase de ciencias.

Basadas en la *teoría de Mayer de las ilustraciones efectivas*, la cual se fundamenta en el modelo del procesamiento de la información (Gabel, 1999; Johnstone, 1997) y la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, en un estudio reciente y muy específico, Bunce y Gabel (2002) plantean la hipótesis de que la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia, usando imágenes bidimensionales de las interacciones atómicas y moleculares para guiar a los estudiantes a un entendimiento visual de los fenómenos químicos,

puede ser suficiente para detectar una diferencia en la habilidad de los estudiantes para la resolución de problemas. Es más, sugieren que los diagramas de partículas, usados como ilustraciones simples de las interacciones de átomos, moléculas o iones, puede afectar el aprovechamiento diferencial de hombres y mujeres.

Así, realizan un estudio con estudiantes de química del nivel medio superior, en el cual forman dos grupos: uno de tratamiento y otro de control. Al primer grupo se le presentaron los conceptos químicos usando tres representaciones (Gabel, 1999): una demostración *macroscópica*, seguida de una explicación de lo que se ha visto empleando *ideas de partículas* y luego una presentación de la *representación simbólica* de la química usando ecuaciones y/o fórmulas. Al grupo de control se le enseñó usando sólo dos representaciones (macroscópica y simbólica).

Sus resultados indican que las mujeres, como grupo, que tienen las mismas habilidades de razonamiento lógico que los hombres, obtienen resultados más bajos que éstos en una prueba de conocimiento químico previo. Sin embargo, al instruírseles con estos elementos visuales de la naturaleza corpuscular de la materia, mejoran sus resultados de aprovechamiento global al mismo nivel que los hombres que reciben el mismo tipo de instrucción, y estos resultados, al mismo tiempo, son significativamente más altos que el de las mujeres que no reciben este tipo de instrucción.

Más allá de las concepciones alternativas

Wandersee, Mintzes y Novak (1994) hacen referencia al futuro de la investigación sobre concepciones alternativas preguntando a varios líderes ¿a dónde debemos ir a partir de aquí? Las respuestas pueden generalizarse en el siguiente decálogo de opiniones, en ocasiones contrapuestas:

- 1) La investigación se mueve de la descripción de concepciones alternativas al entendimiento del proceso del cambio conceptual. Un número de investigadores fueron escépticos respecto a la teoría del cambio conceptual pero lo ven como un buen punto de partida.
- 2) Existe la necesidad de un fundamento teórico que pueda describir, predecir y explicar las concepciones alternativas.
- 3) Algunos investigadores piensan que buscar la *causa* de las concepciones alternativas es más prometedor que buscar su *cura*.
- 4) La pregunta de cuántos más y qué tipo de estudios se requieren permanece abierta.
- 5) La dimensión cultural del fenómeno de las concepciones alternativas parece listo para la exploración productiva.
- 6) Varios expertos ven la necesidad de integrar hallazgos de investigación acerca de concepciones alternativas con aquellos de dominios relacionados (investigación en solución de problemas, en educación en matemáticas y en las ciencias cognitivas).
- 7) Algunos expertos proponen establecer una moratoria para los estudios sobre concepciones alternativas, para que podamos analizar, integrar y asimilar lo descubierto hasta ahora.
- 8) Algunos expertos apuntan que las concepciones alternativas “no son todas de la misma ropa” y que se requiere un nuevo sistema de caracterización.
- 9) Fue sugerida a menudo la necesidad de traducir los hallazgos de investigación sobre concepciones alternativas en lecciones prácticas que los profesores puedan utilizar en sus clases.
- 10) La mayoría de los expertos ven el campo de investigación sobre concepciones alternativas como poseedor de potencial para llevar a muchos hallazgos importantes, si los estudios futuros son cuidadosamente diseñados para ser más analíticamente complejos que lo que han sido los estudios anteriores.

Los autores se afilian finalmente a la primera de las recomendaciones: “Sugerimos que los educadores de las ciencias se inquieten más ampliamente con la meta de entender y promover el cambio conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. Esto no implica que los conceptos de los aprendices de ciencias puedan ser siempre totalmente cambiados [...] pero la re-estructuración conceptual es el corazón de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia, sea que el currículum pretenda producir ciudadanos letrados en ciencia, físicos ganadores del premio Nobel o médicos calificados. Tal enfoque promoverá la colaboración de científicos de las ciencias naturales, especialmente biología, física y química, con los docentes de las ciencias, así como con otros cuyo trabajo pueda ayudarnos a entender la re-estructuración cognitiva a varios niveles y en situaciones similares (*i.e.* historiadores, sociólogos y filósofos de la ciencia, científicos cognitivos, etnógrafos y antropólogos).”

Campanario y Otero (2000) realizan un estudio donde abordan otras posibles causas de las dificultades en el aprendizaje de las ciencias, además de las concepciones alternativas; ellos dicen que es necesario ir más allá y tratar:

- las pautas de pensamiento y razonamiento de los alumnos,
- sus concepciones epistemológicas, y
- sus estrategias metacognitivas.

Respecto al primer punto mencionan que los alumnos, y también los profesores, recurren con frecuencia a *metodologías superficiales* (Carrascosa y Gil, 1985), cuando se enfrentan a problemas de una manera acrítica, lo cual a menudo los lleva a cometer errores; según esto, estas pautas de actuación están profundamente arraigadas en los alumnos y los profesores, y que sin un cambio metodológico no es posible el cambio conceptual.

Con relación al segundo, se ha encontrado que los alumnos tienen sus propias concepciones epistemológicas; es decir, mantienen concepciones y creencias propias sobre la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico y, además, sobre sus propios procesos y productos del aprendizaje. Estas concepciones suelen ser inadecuadas, ya que, por ejemplo, muchos alumnos piensan que aprender ciencias es aprender, fundamentalmente, fórmulas que permiten resolver ejercicios o aprender hechos y fenómenos que los científicos han ido descubriendo a lo largo del tiempo (Hammer, 1995). El proceso de aprendizaje también se ve influido por las concepciones epistemológicas de los alumnos.

Como ejemplo del tercer punto, Campanario y Otero (2000) indican que el conocimiento de los propios procesos y productos cognitivos, de las propiedades de la información, los datos relevantes para el aprendizaje o cualquier cosa relacionada con los procesos y productos cognitivos, esto es, la *metacognición*, también influye en el proceso de aprendizaje; el *aprender a aprender* sería tanto un medio de mejorar el propio aprendizaje como un objetivo valioso en sí mismo.

Pozo, Gómez y Sanz (1999) retoman el problema de la naturaleza del cambio conceptual acerca de la naturaleza de la materia. Estos autores han apuntado una última versión y comprensión del fenómeno del cambio conceptual, de aquí la importancia de que concluyamos este artículo con este punto de vista. Apuntan los autores que después de haber estudiado

química en la escuela secundaria, y aun en la universidad, muchos estudiantes mantienen sus concepciones alternativas sobre la materia. Así, en lugar de interpretar la materia en términos de representaciones microscópicas, los estudiantes conservan sus representaciones macroscópicas, basadas en la apariencia directa de la realidad; es decir, conciben la materia como continua, usualmente estática y sin vacío entre sus partes. Los resultados del aprendizaje de la química nos sugieren que, como ocurre en otros dominios de la ciencia, las teorías personales (en este caso basadas en representaciones macroscópicas) no son reemplazadas en la mayoría de los estudiantes por la teoría científica enseñada (basada en representaciones microscópicas).

Sugieren, después de apuntar lo anterior, que quizás el cambio conceptual no necesariamente involucra el reemplazo de una clase de representación por otra, sino la coexistencia e integración de diferentes representaciones empleándolas para diferentes tareas. Esta interpretación es consistente con las teorías más recientes de representación cognitiva, tal como la de los modelos mentales, que mantiene la existencia de múltiples representaciones mentales que compiten por su activación en cada tarea o para cada contexto. Culminan su artículo, después de estudiar 120 sujetos hispanos de entre 12 y 17 años, considerando que el cambio de la función cognitiva —de descriptiva a explicativa— es el objetivo central del cambio conceptual en química. De esta manera, aprender química no requiere el reemplazo de las representaciones previas, sino un cambio en su función cognitiva, integrándolas en nuevas teorías o modelos conceptuales, que proveerán a las representaciones viejas con un significado diferente y más teórico. Por lo tanto, las representaciones macroscópicas, útiles para describir el mundo en que vivimos, no necesariamente serán removidas, sino meramente cambiadas, en el sentido de re-interpretarlas desde un nuevo punto de vista teórico. En este sentido, la enseñanza de las ciencias no debe pretender reemplazar concepciones alternativas por conceptos científicos, sino lograr que los estudiantes reflexionen entre las diferencias conceptuales y funcionales entre estos dos sistemas de conocimiento aparentemente traslapados, a través de un proceso de conciencia metacognitiva. Podríamos decir que Pozo *et al.* transforman la visión del ‘cambio conceptual’ en una de ‘complementación representacional metacognitiva’.

Conclusiones

Hemos visto la multitud de concepciones alternativas de los estudiantes que finalizan la escuela secundaria, alrededor de la estructura de la materia. Hemos revisado la dificultad planteada en los artículos para superar dichas concepciones alternativas, mencionándose en muchos casos que el cambio conceptual es algo sólo factible de alcanzar en el mediano plazo, repitiendo los conceptos pausadamente en los otros niveles de la enseñanza, sobre todo los microscópicos.

Podríamos atribuir el éxito de los proyectos CLIS y MAM a la introducción del concepto de partícula desde la enseñanza secundaria, momento en el que parece haber consenso en la oportunidad de dicha presentación.

Vemos que tanto el trabajo de Bunce y Gabel (2002), como el de Pozo, Gómez, Limón y Sanz (1991) concluyen acerca de la necesidad de emplear imágenes de las interacciones atómicas y moleculares u otro tipo de representaciones analógicas para mejorar el aprendizaje de la estructura corpuscular de la materia. Quizá fuera conveniente desarrollar modelos computacionales adecuados y evaluar los que ya se han diseñado, para representar de una forma atractivamente visual todos estos aspectos.

No cabe duda de que es necesaria más investigación que pueda constatar las virtudes y las deficiencias de las estrategias didácticas planteadas hasta hoy para abordar el tema de la estructura de la materia, pero más investigación esperamos que aparezca sobre el diseño y validación de nuevas estrategias para atacar este inquietante, fascinante y retador problema. ▣

Referencias bibliográficas

Albanese, A. and Vicentini, M., Why do we Believe that an Atom is Colourless? Reflections about the Teaching of the Particle Model, *Science & Educ.*, **6**, 251-261, 1997.

Andersson, B., Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, **18**, 53-85, 1990.

Ausubel, D.P., Novak, J.D. y Hanesian, H., *Psicología educativa*, Trillas, México, 1983.

Barker, V., Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas. *A report prepared for the Royal Society of Chemistry*, versión electrónica, p. 1-79, 2000.

Benarroch, A., Del modelo cinético-corporcular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **23**, 95-108, 2000a.

Benarroch, A., El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**[2], 235-244, 2000b.

Benarroch, A., Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de

los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia, *Enseñanza de las Ciencias*, **19**[1], 123-134, 2001.

Ben-Zvi, R., Eylon, B. and Siberstein, J., Is an atom of copper malleable?, *J. Chem. Educ.*, **63**[1], 64-66, 1986.

Berkheimer, G.D., Anderson, C.W. and Blakeslee, T.D., *Matter and molecules teacher's guide: Activity book*, East Lansing: Michigan State University, Institute for Research on Teaching, 1988.

Borsese, A., Lumbaca, P. y Pentimali, J., Investigación sobre las concepciones de los estudiantes acerca de los estados de agregación y los cambios de estado, *Enseñanza de las Ciencias*, **14**[1], 15-24, 1996.

Brook, A., Briggs, H. and Driver, R., *Aspects of Secondary Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter*, Children's Learning in Science Project, U. of Leeds, 1984.

Bunce, D. and Gabel, D., Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry, *J. Res. Sci. Teach.*, **39**[10], 911-927, 2002.

Campanario, J. M. y Otero, J. C., Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**[2], 155-169, 2000.

Carrascosa, J. y Gil, D., La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **3**, 113-120, 1985.

De Vos, W. and Verdonk, A.H., The Particulate Nature of Matter in Science Education and in Science, *J. Res. Sci. Teach.*, **33**[6], 657-664, 1996.

Fensham, P. J., *Conceptions, Misconceptions, and Alternative Frameworks in Chemical Education*, Conferencia dictada en una reunión de la "Education Division of the Royal Society of Chemistry" el 26 de abril de 1983.

Furió-Mas, C., Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y Tendencias, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **7**, 7-17, 1996.

Gabel, D.L., Samuel, K.V. and Hunn, D., Understanding the Particulate Nature of Matter, *J. Chem. Educ.*, **64**[8], 695-697, 1987.

Gabel, D. L. and Bunce, D.M., Research on problem solving: Chemistry, In D. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York, Macmillan, p. 301-326, 1994.

Gabel, D., Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future, *J. Chem. Educ.*, **76**[4], 548-554, 1999.

Gallegos, L., *Comparación entre la evolución de los conceptos históricos y las ideas de los estudiantes: el modelo de estructura de la materia*, disertación doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 2002.

Gallegos, L. and Garritz, A., Model profiles as a representation of conceptual change in students, sometida a *Science Education*, 2003.

Garnett, P.J. and Hackling, M.W., Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning, *Studies in Science Education*, **25**, 69-95, 1995.

Gilbert, J. K., Osborne, R.J. and Fensham, P. J., Children's Science and its consequences for teaching, *Science Education*, **66**[4], 623-633, 1982.

- Gómez Crespo, M.A., Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **7**, 37-44, 1996.
- Haidar, A. and Abraham, M., A Comparison of Applied and Theoretical Knowledge of Concepts Based on the Particulate Nature of Matter, *J. Res. Sci. Teach.*, **28**[10], 919-938, 1991.
- Hammer, D., Epistemological Considerations in Teaching Introductory Physics, *Science Education*, **79**, 393-413, 1995.
- Jensen, W.B., Logic, History and the Chemistry Textbook. Part I, Does Chemistry Have a Logical Structure? *J. Chem. Educ.*, **75**[6], 679-687, 1998a.
- Jensen, W.B., Logic, History and the Chemistry Textbook. Part II, Can We Unmuddle the Chemistry Textbook? *J. Chem. Educ.*, **75**[7], 817-828, 1998b.
- Jensen, W.B., Logic, History and the Chemistry Textbook. Part III, One Chemical Revolution of Three? *J. Chem. Educ.*, **75**[8], 961-969, 1998c.
- Jiménez, G. E., Solano, M. I. y Marín, M. N., Problemas de terminología en estudios realizados acerca de «lo que el alumno sabe» sobre ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**[2], 235-245, 1994.
- Johnson, P., Progression in Children's Understanding of a Basic particle Theory: a Longitudinal Study, *Int. J. Sci. Educ.*, **20**[4], 393-412, 1998.
- Johnstone, A. H., Chemistry teaching-science or alchemy?, *J. Chem. Educ.* **74**, 262-268, 1997.
- Lee, O., Eichinger, D.C., Anderson, C.W., Berkheimer, G.D. and Blakeslee, T.D., Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules, *J. Res. Sci. Teach.*, **30**[3], 249-270, 1993.
- Llorens, J.A., La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje, *Investigación en la escuela*, **4**, 33-48, 1988.
- Mitchell, H. and Kellington, S., Learning difficulties associated with the particulate theory of matter in the Scottish integrated science courses, *European Journal of Science Education*, **4**, 429-440, 1982.
- Novak, J.D. and Musonda, D., A twelve-year longitudinal study of science concept learning, *American Educational Research Journal*, **28**, 117-153, 1991.
- Novick, S. and Nussbaum, J., Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study, *Science Education*, **62**[3], 273-281, 1978.
- Novick, S. and Nussbaum, J., Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, *Science Education*, **65**[2], 187-196, 1981.
- Nussbaum, J. and Novick, S., Alternative Frameworks, Conceptual Conflict and Accommodation : Toward a Principled Teaching Strategy, *Instructional Science*, **11**, 183-200, 1982.
- Nussbaum, J., The Particulate Nature of Matter in the Gaseous Phase. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (eds.), *Children's Ideas in Science*, Open University Press, Philadelphia, 1985, p. 125-144.
- Osborne, R. J. and Bell, B. F., Science Teaching and Children's Views of the World, *Eur. J. Sci. Educ.*, **5**[1], 1-14, 1983.
- Pfund, H. and Duit, R., Bibliography "Students' alternative frameworks and science education", versión electrónica, 1998.
- Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. A., Limón, M. y Sanz, A., *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia*, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1991.
- Pozo, J. I., Gómez, M. A. and Sanz, A., When Change Does Not mean Replacement: Different Representations for Different Contexts. En Schnotz W., Vosniadou, S., Carretero M. (eds.), *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*, Pergamon, Oxford, 1999, p. 161-174.
- Renström, L., Andersson, B. and Marton, F., Students' Conceptions of Matter, *J. Educ. Psych.* **82**[3], 555-569, 1990.
- Rodríguez-Moneo, M., El estudio de las concepciones alternativas. En *Conocimiento Previo y Cambio Conceptual*, AIQUE, Buenos Aires, p. 4-29, 1999.
- Stavy, R., Children's Conception of Changes in the State of Matter: from Liquid (or Solid) to Gas, *J. Res. Sci. Teach.*, **27**[3], 247-266, 1990.
- Teagust, D., Duit, R. and Nieswandt, M., Sources of students' difficulties in learning Chemistry, *Educación Química*, **11**[2], 228-235, 2000.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. and Novak, J. D., Research on Alternative Conceptions in Science. In D. Gabel (ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York, Macmillan, p. 177-210, 1994.