

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PRINCIPALES CONCEPCIONES ALTERNATIVAS ACERCA DE LA DISCONTINUIDAD DE LA MATERIA

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

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

La materia es continua o discontinua

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

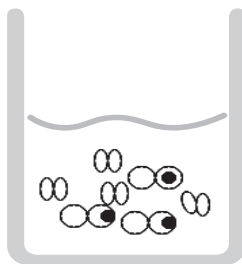


Figura 3.1. Diagrama de una mezcla de un elemento diatómico y un compuesto en donde se representa la superficie de la sustancia a través de una línea, significando que las partículas están suspendidas en otra sustancia

Fuente: Harrison, A. G., 2001.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cambios de estado físicos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Conservación de propiedades no observables durante los cambios físicos

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

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

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

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

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

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

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

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

La conservación de las propiedades no observables durante los cambios químicos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

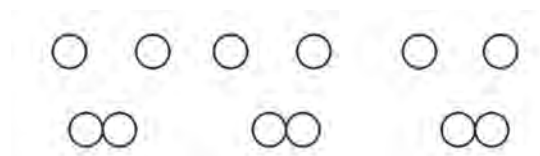


Figura 3.3. Ilustración de la falta de los estudiantes de la comprensión del propósito de los coeficientes y subíndices en las fórmulas y ecuaciones balanceadas

Otra fracción minoritaria de los estudiantes realizó la siguiente representación:

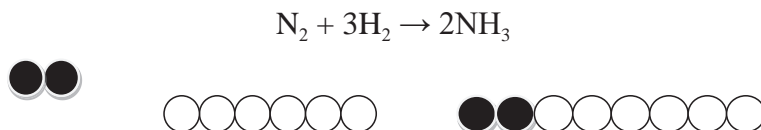


Figura 3.4. Representación del concepto de la naturaleza submicroscópica de la reacción entre el nitrógeno y el hidrógeno

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

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

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

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