

Concepciones de profesores, estudiantes y libros de texto en torno a las representaciones simbólicas en química¹

Carlos Javier Mosquera Suárez²
cmosquer@hotmail.com

William Manuel Mora Penagos³
morawm@latinmail.com

RESUMEN

El contexto en el cual se inscribe este artículo, tiene que ver con la problemática asociada a la enseñanza y el aprendizaje de conceptos científicos y muestra los resultados que se han obtenido al auscultar algunas concepciones que manifiestan profesores de química de educación media, estudiantes de carreras universitarias de licenciatura en química y libros de texto en relación con las teorías atómicas y sus representaciones simbólicas.

Luego de realizar un estudio histórico de las teorías atómicas y de sus representaciones simbólicas apoyado desde la perspectiva de concepciones epistemológicas contemporáneas

- 1 Este artículo es resultado de la investigación titulada **La didáctica de las representaciones simbólicas en química y su relación con las preconcepciones de los estudiantes**. Este proyecto fue realizado gracias al apoyo del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- 2 Licenciado en Química, Magíster en Docencia de la Química, Candidato a Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales Universidad de Valencia (España). Profesor Proyecto Curricular de Licenciatura en Química de la Facultad de Ciencias y Educación de la Universidad Distrital e integrante del Grupo de Investigación en Didáctica de la Química DIDAQUIM.
- 3 Licenciado en Química, Magíster en Docencia de la Química. Profesor Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital e integrante del grupo de Investigación en Didáctica de la Química DIDAQUIM.

consolidadas en lo que se ha denominado la nueva filosofía de la ciencia, y analizando el impacto de este tipo de fundamentación en relación con teorías didácticas de orientación constructivista para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (concretamente para la enseñanza y el aprendizaje de la química), se han evaluado las concepciones que poseen sobre la naturaleza de la materia y sus esquemas de representación, profesores, estudiantes y libros de texto. Luego de un estudio múltiple y convergente se ha encontrado que las representaciones simbólicas que se suelen presentar en el complejo proceso de la enseñanza y el aprendizaje de la química en relación con la estructura de la materia, son coherentes con concepciones científicas en desuso o con concepciones de sentido común. De la misma forma se ha encontrado que estas concepciones obedecen a criterios epistemológicos e históricos tradicionales de la ciencia, cercanos a modelos realistas - interpretativos o en el mejor de los casos a modelos empiropositivistas, las cuales se alejan de orientaciones contemporáneas acerca de la naturaleza de la ciencia y de sus implicaciones en la investigación y en la innovación actual en la enseñanza de la química.

ABSTRACT

The context in which this article was written has to do with the question associated with the teaching and learning of scientific concepts and bears light on the results obtained by listening to some conceptions manifested by chemistry professors involved in mid-education, university students whose major is chemistry and also those mentioned in texts related to atomic theories and their symbolic representations.

After carrying out a historic study on atomic theories and their symbolic representations, supported by a conception of contemporary epistemological concepts focused on what has recently been called the new philosophy of science and after analyzing the impact of these type of fundamentals when dealing with constructivist teaching practices regarding the teaching of science (specifically for the teaching/learning of chemistry), evaluation has been carried out on the conceptions they hold regarding nature and matter and their representation schema, professors, students and textbook. After a multiple and convergent study it has been discovered that the symbolic representations that the process of teaching/learning chemistry pose in relation to the structure of the subject area, are coherent with no-longer used scientific and common-sense concepts. Likewise it has been found that these concepts follow epistemological and historical criteria traditionally associated with science, closer to realistic/interpretative models or even empirically positive models, which are further from contemporary views on the nature of science and its investigative implications as well as its innovation in the current teaching of chemistry.

Palabras claves:

Representaciones simbólicas, Didáctica de las Ciencias, Nueva filosofía de la ciencia, concepciones previas.

1. INTRODUCCIÓN

Las representaciones simbólicas que se han elaborado en la ciencia a lo largo de su desarrollo histórico, pueden quizás comprenderse por la acción metacognitiva de los hombres al elaborar concepciones expresadas con símbolos antes que con conceptos con el fin de dotar de significados a los fenómenos naturales.

Estas concepciones, producto de la interacción de los sujetos cognoscentes con la realidad, se han generado por la necesidad de crear nuevas formas de comunicación tanto con la naturaleza como con otros individuos interesados en problemáticas similares, las cuales se anteponen a todo esquema netamente conceptual que corresponde a un desarrollo cognitivo superior. Así, una representación simbólica en ciencia se ha originado a partir de formas más externas y simples de expresar las ideas en torno a la naturaleza. Justamente la investigación histórica en la ciencia nos ha provisto de herramientas para comprender cómo se han transformado las primeras representaciones y se han consolidado otras fundamentadas en elaboraciones teóricas resultado de procesos de investigación científica las cuales, en la gran mayoría de los casos, han previsto rupturas o diferenciaciones con las representaciones propias del sentido común.

De hecho, la investigación sobre la naturaleza de la ciencia y sobre la historia de la ciencia nos ha permitido comprender las diferentes posturas conceptuales y metodológicas que sobre el origen e interpretación de la naturaleza y sobre la estructura y la composición de los cuerpos han sido objeto de reflexión en el campo de acción disciplinar de la química. Estos estudios, también constituyen una herramienta fundamental para entender cómo las personas elaboramos representaciones sobre el mundo, las cuales, en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias, constituyen un elemento fundamental para organizar cualquier actividad de enseñanza de la ciencia: el conocimiento de nuestras concepciones previas.

Por ello, el especial interés de esta investigación en el contexto de la investigación en didáctica de la ciencia. Por una parte, para fundamentar conceptualmente una interpretación histórica y epistemológica de la química que nos permita entender mejor cómo han cambiado las ideas sobre la naturaleza de la materia y la manera como la representamos simbólicamente desde sistemas teóricos coherentes, y por otra, para intentar fundamentar propuestas de enseñanza de las representaciones simbólicas de la química que hagan conciencia de la multiplicidad de modelos teóricos que se han presentado a lo largo de la historia, donde cabe considerar aquellos que desde nuestras posturas del sentido común podamos elaborar, y que conduzcan a consolidar una visión dinámica de la ciencia (elemento básico del conocimiento científico) y una comprensión reflexiva de la misma en el acto de su enseñanza y su aprendizaje (elemento básico del conocimiento científico escolar).

Así las cosas, por considerarse el lenguaje científico un objetivo primordial tanto del conocimiento científico como del conocimiento científico escolar, interesa conocer el tipo de representaciones simbólicas que sobre la estructura de la materia se enseña y se aprende en la educación científica escolar ya que ello significa identificar las concepciones de partida que dan lugar y sentido a dichas representaciones.

La literatura especializada da cuenta de la dificultad de considerar el aprendizaje de la ciencia de los alumnos como un asunto de compatibilidad entre el conocimiento científico y el conocimiento espontáneo, al suponer que la mente de los alumnos está predeterminada para seguir la lógica del discurso científico (Pozo y Gómez Crespo 2000). De igual forma, también se muestran algunos resultados de las inconsistencias que surgen al considerar el aprendizaje de los alumnos como **un asunto de incompatibilidad**, donde se prevé reconocer lo que el alumno sabe para cambiar sus ideas presentes en forma radical por nuevas posturas científicas (Pozo y Gómez Crespo 2000).

Algunos trabajos recientemente publicados (Pozo 1999; Taber 2000) muestran la plausibilidad de considerar el aprendizaje de los alumnos como un **problema de contextualización**

de modelos, donde fundamentalmente se favorece un conocimiento reflexivo de diversas estructuras teóricas que son valoradas y aceptadas por el grado de potencia heurística que tengan. Estas dos últimas perspectivas del aprendizaje de la ciencia, orientan las investigaciones y las innovaciones contemporáneas en didáctica de las ciencias. Desde ellas se estima la enseñanza de la ciencia como aquella que favorece que los alumnos construyan conocimientos a partir de aquello que ya saben. Mediante actividades de investigación originadas en el aula de clase y a partir del tratamiento de problemas de interés, los conocimientos previos de los alumnos hacen las veces de hipótesis de partida desde las cuales pueden valorarse y acotarse los problemas planteados en el aula; también pueden servir de referencia para valorar otros elementos de análisis (como los elaborados en ciertos momentos en la historia de la ciencia) y para cotejar, reforzar y matizar los diversos modelos conceptuales que pueden surgir al orientar la explicación sobre un cierto fenómeno.

Esta perspectiva, consideramos, puede ser de gran utilidad para favorecer el desarrollo de actividades de enseñanza y de aprendizaje de las representaciones simbólicas de la química, pues el aprendizaje de dichas representaciones pasa por comprender los diferentes modelos que se han presentado a lo largo de la historia de la química, por valorar sus éxitos y sus dificultades y principalmente, por comprender significativamente la estructura teórica que los fundamenta. Ello ha de permitir además desfavorecer en los estudiantes imágenes distorsionadas de la ciencia tales como visiones rígidas, dogmáticas y ateóricas.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para abordar la problemática señalada atrás, se presentan a continuación algunos principios básicos de los modelos contemporáneos sobre la enseñanza de la ciencia originados desde la investigación en didáctica de las ciencias experimentales.

- Los alumnos **construyen sus conocimientos científicos en química** mediante su propia actividad intelectual, basada en la activación de sus ideas previas. De allí que se haga necesario investigar dichas ideas previas con que los alumnos llegan a las aulas, interpretándolas y generando síntesis de las principales dificultades de tipo conceptual, metodológico y actitudinal con el fin de poder ofrecer criterios curriculares útiles para el desarrollo de secuencias de actividades que favorezcan cambios o recontextualizaciones de tipo conceptual, metodológico y actitudinal en los estudiantes. Esta idea ha venido siendo aplicada en investigaciones sobre las concepciones de los profesores de química mostrando una estrecha concordancia con los resultados que arrojan las indagaciones sobre las concepciones de los alumnos y las alumnas, de allí que es necesario no sólo examinar las ideas de los estudiantes sino las de los profesores para comprender su relación y para proponer cambios curriculares en la formación inicial y permanente de profesores de química.
- Algunas de las concepciones previas más coincidentes entre profesores y alumnos acerca de la naturaleza de la materia (Caamaño et al 1983; Furió 1986; Carbonell y Furió 1987; Lloréns 1988; Iglesias et al 1990; Valcárcel 1990; Bueso et al 1988; Pozo et al 1992; Furió et al 1993; Mosquera y Mora 1998) son la **comprensión de la materia como algo continuo, la conservación de las propiedades no observables y la cuantificación de relaciones**. En relación con la **discontinuidad de la materia** (concepción corpuscular) se destacan las relacionadas con la atribución de características animistas, la ausencia de movimiento continuo, la inexistencia del vacío, la atribución de

propiedades macroscópicas para explicar comportamientos microscópicos, la ausencia de peso, la no conservación de la forma, tamaño o número, la ausencia de interacciones y la creación de fuerzas para explicar su comportamiento. En general, se aprecia el uso de **reglas de semejanza entre los hechos y los modelos que los explican**. Si en el mundo macroscópico observable la materia es continua, también lo será en el mundo microscópico (nivel atómico – molecular). Como afirman Pozo et al (1992), “una consecuencia de esta regla es que **tendemos a atribuir a la realidad desconocida las propiedades de los modelos conocidos o más accesibles**. Esto es, hay una tendencia manifiesta por **creer que existe una semejanza o correspondencia entre las causas y los efectos**. Así, un cambio en la cantidad de efecto debe corresponder a un cambio similar en la cantidad de causa y viceversa. Ante un recipiente con agua hirviendo a 100 grados, se cree que si aumentamos la intensidad de la llama aumentará en correspondencia la temperatura del agua”.

En relación con la **conservación de la materia** se considera que en los estados de la materia los cambios de presión, volumen o temperatura afectan la masa de un gas, que al pasar de líquido a gas la sustancia se hace más ligera o que en la formación de soluciones la masa de soluto disminuye. En cuanto a la **cuantificación de relaciones**, el problema principal se da al establecer relaciones cuantitativas entre las masas y los volúmenes y el número de partículas implicadas ya que esas partículas son muy pequeñas y no pueden medirse y seleccionarse en pequeñas cantidades. Por ello es necesario medir un gran número de partículas lo que a su vez hace necesario conceptos como el de **mol y cantidad de sustancia**. En general los cálculos químicos necesitan de razonamiento proporcional. Sin embargo, los alumnos suelen recurrir a explicaciones aditivas más que interactivas (causalidad lineal y simple), así la oxidación o la combustión se explican no como una recombinación de átomos sino como un proceso aditivo.

- A partir de la investigación de problemas conceptuales asociados con teoría atómica, modelos atómicos, propiedades de la materia, propiedades periódicas, cambios físicos y químicos, estados de la materia, soluciones y mezclas (Mosquera 1998) se encontraron tres tipos de concepciones previas: a) sensoriales, producto de ideas del sentido común, expresadas a partir de un empirismo ingenuo causal, ya que la realidad se presenta como algo externo al sujeto de modo que para conocerla se requiere descubrirla a través de la experiencia como único camino; b) sociales, producto de concepciones inducidas, mediadas por el contexto social particular donde convive el sujeto y que resultan de la representación de la cultura de base; y c) análogas, las cuales se presentan por similitudes entre modelos explicativos y están directamente asociadas con las concepciones previas sociales. De allí se concluye que las concepciones previas son producto de la actitud de descubrimiento de los seres humanos ya sea de origen sensorial, social o analógico. Modificar estas concepciones previas para acceder al conocimiento de concepciones científicas implica un proceso constructivo racional donde se piensa sobre lo no necesariamente evidente. La evidencia científica (producto de la indagación científica sobre el mundo), diferente a la evidencia del sentido común (producto de la aproximación vivencial al mundo) requiere un proceso de construcción que facilite el acceso a otros esquemas de razonamiento lógico. Mientras que a los estudiantes no se les brinden oportunidades metodológicas para que sean capaces de cambiar o de recontextualizar sus formas de pensar, su razonamiento será propio de concepciones intuitivas.

Por otra parte, desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias, las concepciones previas pueden dar lugar a ideas de sentido común (si son puramente sensoriales) o a

concepciones alternativas (si son producto de un mayor grado de elaboración debido al impacto de la educación formal o informal en educación científica pero radicalmente diferentes a las ideas establecidas por la ciencia). La dificultad para modificar las concepciones previas radica en el hecho que no son apropiadas bajo esquemas similares a la forma como se produce el aprendizaje significativo y la comprensión de la ciencia por parte de las comunidades científicas especializadas, es decir, no se conectan coherentemente a partir de problemas cualitativos abiertos que requieren para su desarrollo, la inserción de los individuos interesados en abordar el problema en un programa de investigación coherente, teórica y experimentalmente fundamentado y socialmente contextualizado. Por el contrario, la mayor parte del aprendizaje escolar parte de estrategias metodológicas que favorecen el aprendizaje memorístico de los conceptos científicos (equivalente a un aprendizaje arbitrario, donde se asimilan explicaciones externas al sujeto que aprende y que conforman un listado de conceptos y principios a aprender desprovistos de los resultados de una investigación o de investigaciones que les ha dado lugar), lo cual origina dificultades conceptuales para explicar fenómenos y solucionar nuevos problemas.

3. METODOLOGÍA

Por tratarse de una investigación diagnóstica, ésta ha sido fundamentalmente descriptiva y para su desarrollo se requirió el empleo de diseños metodológicos múltiples y convergentes. Como indicadores para el análisis se han auscultado representaciones simbólicas en torno a ideas sobre cambios físicos y químicos, algunas propiedades extensivas (organolépticas, masa, peso, volumen) e intensivas (ductilidad, dureza y otras) y por último estructurales en términos de átomos y moléculas. Los pasos seguidos fueron:

- a) Descripción detallada del marco conceptual investigado, de acuerdo con una revisión histórica y epistemológica de las teorías atómicas y moleculares así como del paradigma contemporáneo de la didáctica de las ciencias, en particular del modelo de enseñanza y aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida.
- b) Elaboración, validación, estandarización y aplicación de los instrumentos didáctico, epistemológico-histórico y científico. Un primer instrumento recogió indicadores de naturaleza didáctica – epistemológica e histórica, siendo éste de tipo Likert y cuya función principal fue la de analizar el punto de vista de los estudiantes con respecto a la naturaleza del conocimiento científico. Las preguntas fueron estandarizadas de acuerdo a una categorización previa. El instrumento fue aplicado a 70 estudiantes provenientes de niveles de educación media académica y de primeros semestres de carrera universitaria de licenciatura en Química. Otro instrumento recogió indicadores de naturaleza científica el cual integra un conjunto de preguntas adaptadas de una investigación realizada por Llorens (1991); a partir de dicho instrumento fue posible detectar las concepciones que poseen los estudiantes acerca de la estructura interna de la materia y sus consecuentes representaciones gráficas. Cada una de las preguntas fue estandarizada de acuerdo a una categorización previa basada en la red de análisis elaborada en la investigación y fundamentada en las concepciones científicas sobre la estructura interna de la materia elaboradas en el campo de la química orgánica clásica desde comienzos del siglo XIX y durante el siglo XX. Un tercer instrumento se aplicó para identificar las concepciones de profesores y de libros de texto el cual se fundamentó en el trabajo elaborado por De Vos y Verdonk (1996); éste fue aplicado a profesores de química de educa-

ción media académica y de Licenciatura en Química así como a libros de texto comúnmente empleados en estos niveles educativos y se focalizó principalmente en la detección de ideas sobre la naturaleza y características de las partículas últimas de la materia. Todos los instrumentos fueron validados de acuerdo con las orientaciones metodológicas de la investigación educativa a pesar que los dos últimos ya provenían de investigaciones precedentes.

4. RESULTADOS ENCONTRADOS

4.1 Concepciones de los estudiantes

Luego de los análisis tanto cualitativos como cuantitativos, se han encontrado los siguientes resultados generales (se citan en cada caso, las tendencias mayoritariamente identificadas):

- Conciben el conocimiento científico como algo que se construye por los científicos quienes son personas que para hacer su trabajo no necesitan estar influenciados por condiciones culturales externas.
- Consideran que un adecuado aprendizaje de la química se puede lograr de manera más fácil si el profesor les transmite con claridad las teorías que deben estudiar.
- Consideran que la ciencia progresa por la acumulación de hechos válidos.
- Consideran que un correcto aprendizaje de la química se evidencia cuando se está en capacidad de repetir temas fundamentales de un curso y cuando se pueden resolver algorítmicamente la mayor cantidad de ejercicios de aplicación de cierta complejidad.
- Se inclinan por una concepción histórica de la ciencia entendida como el conocimiento de conjuntos de hechos y de personajes científicos asociados a dichos hechos (imagen historiográfica ingenua y acumulativa de la ciencia).
- Consideran que es poco importante relacionar de manera lógica las estructuras conceptuales de las teorías químicas con las representaciones simbólicas en la química, pues aprendiendo repetitivamente técnicas de terminología química y de representaciones simbólicas, es suficiente para aprobar estos temas en un curso de química.
- Las representaciones gráficas que realizan los alumnos ponen de manifiesto en un primer instante una tendencia a simbolizar en términos corpusculares y macroscópicos la formación de elementos y compuestos. Sin embargo también pudo evidenciarse en sus representaciones la tendencia a concebir el oxígeno, el hidrógeno y otras moléculas diatómicas como átomos independientes (sistemas monoatómicos); además varias representaciones de las partículas las grafican como una formación de agregados de átomos iguales o diferentes según sean elementos o compuestos, notándose una clara dificultad para aceptar que las sustancias simples (elementos) puedan constituir moléculas.

Los resultados obtenidos en la muestra de estudiantes evidencian una clara postura hacia una imagen intuitiva del aprendizaje queriendo decir con esto que los alumnos construyen sus representaciones gráficas apoyados con ideas del sentido común influenciadas por la percepción de su entorno (imagen realista del conocimiento). Por otra parte se pudo evi-



denciar que en las representaciones gráficas elaboradas por los estudiantes no se conservan ni el número, ni la forma, ni el tamaño de las partículas, es decir hay una vaga noción de conservación de la materia en los cambios físicos y químicos. Producto del análisis e interpretación de las representaciones gráficas elaboradas por los alumnos hay una imagen de materia sin movimiento; mostrando un empaquetamiento de partículas las cuales toman la forma del recipiente que las contiene; por otra parte un bajo porcentaje de los estudiantes manifiesta una concepción cinética de las partículas asignándoles de igual forma cualidades dinámicas en el nivel macroscópico. En general las representaciones simbólicas elaboradas por los estudiantes hacen alusión a diversas interpretaciones mecánicas del movimiento dotadas con un carácter direccional (resortes, espirales) aunque de carácter netamente sustancialista, dichas representaciones asignan un carácter inmaterial a los gases, por ejemplo no admiten que los gases tengan peso. Las representaciones de los alumnos hacen alusión a la aceptación de la idea de vacío, interpretada a través de modelos corpusculares macroscópicos que han plasmado en sus dibujos, sin embargo se evidencia que dichas representaciones no tienen en cuenta el principio de discontinuidad de la materia, haciendo alusión a la ingravidez de las partículas o a la presencia de atracción o repulsión entre ellas o a una sustancia muy ligera que lo rellena todo. El estadio histórico más reciente que representan los estudiantes sobre el átomo, está relacionado con el sistema planetario tal como lo hiciera Niels Bohr en 1913. De igual forma, los estudiantes recurren a ideas sustancialistas para dar respuesta a las propiedades de los materiales y a las transformaciones que ellos sufren, por ejemplo en la representación gráfica de la reacción química para la obtención del acetileno se pudo observar mayoritariamente que no hay una imagen de transformación ni de conservación de la materia. Las representaciones dibujadas por los estudiantes manifiestan la tendencia a simbolizar la interacción de los átomos a través de zonas similares a la noción de atmósferas de calor tal y como las postulara Dalton en 1810.

4.2 Concepciones en libros de texto

Por otra parte, luego de analizar los resultados sobre el estudio a profesores y libros de texto, es interesante anotar cómo los resultados obtenidos son coincidentes lo que implica por una parte que las clases de ciencias siguen siendo orientadas preferentemente por lo que presentan los libros de referencia, así como que el profesorado de esta disciplina del conocimiento poco o nada tiene en cuenta los resultados que arroja la investigación en didáctica de las ciencias, en particular en lo que se refiere a los estudios sobre la enseñanza y el aprendizaje de la química y a los de las concepciones alternativas de los estudiantes.

En los libros de texto continúan presentándose tanto los términos como las representaciones simbólicas asociadas a la naturaleza corpuscular de la materia sin hacer énfasis alguno en la dependencia teórica que tienen. Por ejemplo, en la exposición de la teoría atómica postulada por John Dalton, se ilustran representaciones gráficas de átomos como puntos sin precisar una justificación histórica y científica a este tipo de convención para su representación; en otras palabras, se presentan rápidamente esquemas que pretenden hacer más claras las ideas para los estudiantes pero dejan de lado la orientación teórica que sin duda pueden tener. Faltaría hacer referencia a las propias ideas expuestas por Dalton para entender por qué este tipo de representaciones. Aunque se hace énfasis en la evolución de las teorías atómicas, la manera de representar átomos o moléculas en sistemas sólidos, líquidos o gaseosos es prácticamente igual a lo largo de los textos. En consecuencia, no se comprende cómo se expliquen avances en las teorías y sin embargo, las representaciones continúan siendo prácticamente las mismas. Los grandes problemas de la ciencia química continúan presentándose de manera inconexa. La terminología química (comúnmente

acuñada en un capítulo de nomenclatura química) no se relaciona en ningún momento con los avances que sobre teorías atómicas se iban presentando tanto en la química como en la física. La terminología, además de no estar sustentada en modelos teóricos atómicos se presenta como grandes trozos que a lo único que conducen es a una enseñanza claramente marcada por la transmisión verbal y en consecuencia, a un aprendizaje de tipo memorístico. Continúa sin resaltarse el hecho que las representaciones simbólicas para átomos y moléculas así como la terminología asumida para elementos y compuestos se muestra casi sin alteraciones a pesar de los cambios que ha sufrido la química especialmente en los dos últimos siglos. Las imágenes de conocimiento científico químico (visiones epistemológicas) y el desarrollo de esta disciplina (visiones históricas) se presentan en general alejadas de las tendencias contemporáneas sobre la historia y la epistemología de la ciencias, aglutinadas en lo que en la actualidad se suele denominar como nueva filosofía de la ciencia. La presentación de conceptos estructurantes de una teoría se muestra de manera inductivista, resultado más de la experiencia y del trabajo afortunado de científicos que trabajan individualmente y que llegan a conclusiones geniales más que al resultado del trabajo de colectivos que al intercambiar opiniones y fundamentar mejor sus marcos explicativos, estuvieron en la capacidad de razonar en formas alternativas lo que conduciría (casi siempre de manera temporal) al desarrollo de la disciplina. Una imagen de ciencia de corte inductivista, apoyada en elementos de corte empirista donde la esencia del progreso científico es la experiencia y la experimentación como punto de partida, se asocia directamente con una imagen de crecimiento lineal y acumulativo de las teorías científicas. Así, se da la sensación que los científicos son genios que aparecen de cuando en vez y que las teorías científicas actuales son el resultado de la acumulación de todas las teorías que han existido hasta nuestros días. El impacto en las representaciones simbólicas que se manifiestan en los libros de texto es evidente, los átomos son objetos que se hallan escondidos en la naturaleza y lo que de ellos se puede dibujar es la fiel copia de cómo son en el mundo microscópico. La posibilidad de dibujarlos en una forma determinada se debe a la sagacidad del científico que pudo llegar a la conclusión de cuál debería ser su forma. Evidentemente, como las teorías evolucionan acumulativamente, las imágenes posteriores parecen mostrarse como formas más aproximadas a lo que “en verdad” es un átomo. De nuevo, se olvida la naturaleza racional de la química y el hecho que los conceptos de las teorías atómicas son constructos orientados por las teorías, de manera que lo que se “observa” no es sino lo que predice la teoría.

4.3 Concepciones de los profesores

Entre los principales resultados obtenidos luego de analizar las concepciones de los profesores, se destacan: la idea de partículas se ofrece, como el nombre lo sugiere, a objetos de material sólido directamente asociado con el mundo macroscópico, solo que con un tamaño mucho menor. Este sesgo tiende a reforzarse cuando los profesores, con el ánimo que los estudiantes puedan tener una mejor “imagen de lo microscópico”, invitan a los estudiantes a imaginar que tiene en su poder un “potente microscopio que permite apreciar todos los detalles”.

La expansión térmica de los sólidos se explica aduciendo que las partículas vibran más fuertemente si aumenta la temperatura, en todo caso las partículas no aumentan de tamaño. Se olvida sin embargo, que tal como lo manifestara en su momento Schrödinger, la distancia entre los centros de los átomos de un sólido o de un líquido (no en los gases, pues a temperatura y presión ideales la distancia interatómica es mucho mayor) tiende a incrementarse con el aumento en la temperatura del sistema. Otro punto para el análisis es la manera como los profesores dibujan las partículas de un gas. El promedio de la distancia entre las



moléculas de un gas es del orden de diez veces su diámetro a diez atmósferas de presión y a temperatura ambiente. En consecuencia las moléculas ocupan aproximadamente el 0,1% del volumen del recipiente. Sin embargo, y pese a este hecho, se suele dibujar un gas confinado en un recipiente denotando una apreciable cantidad de partículas (aunque por supuesto, mucho menos que las que se encuentran en un líquido o en un sólido), que resulta ser mucho mayor que el 0,1% que debieran ocupar.

En cuanto a variables físicas fundamentales, se ha encontrado lo siguiente que el espacio y el tiempo no difieren mucho de conceptos de orden macroscópico. Ambos se consideran eventos continuos, no cuantizados. En la descripción de las partículas, no se considera la posibilidad de que posean una longitud menor o un período de tiempo más corto, en otras palabras, las partículas atómicas se consideran en el espacio y en el tiempo como objetos macroscópicos. La masa se considera una propiedad de las partículas de tal manera que cada una posee un arreglo fijo y una masa constante. Así, la masa de un átomo solo difiere del nivel macroscópico por el hecho que se considera cuantizable. Igual sucede con la noción de energía, la cual se describe preferentemente en términos de energía cinética y de energía potencial y su conversión entre una y otra es posible por la ley de conservación de la energía (de nuevo, se encuentra aquí una referencia hacia el sentido macroscópico). Recordemos que a nivel microscópico el concepto de energía de nuevo es explícitamente cuantizable. Por otra parte, no se considera en forma explícita sino como una nota más de curiosidad que de impacto científico, la relación entre masa y energía deducida de la ecuación de Einstein.

La carga eléctrica se introduce al tratar temas relacionados con la corriente eléctrica (electrones), sales y soluciones salinas (iones) y estructura atómica (electrones y protones). Sin embargo, no se relaciona la idea de atracciones y repulsiones explícitamente con la noción microscópica de la carga eléctrica cuantizada. En general puede decirse que las representaciones simbólicas que se hacen sobre la naturaleza de la materia, están más próximamente relacionadas con las concepciones científicas del siglo XIX que con las ideas científicas contemporáneas. Todo ello a pesar que los profesores y en algunos casos, los libros de texto, manifiestan explícitamente las características novedosas de la ciencia actual en relación con las consideraciones atómicas del siglo XIX.

En síntesis puede decirse que se encuentra una paradójica contradicción entre las teorías atómicas que manifiestan los profesores y los libros de texto ya que se exponen teorías aproximadamente vigentes aunque se representan usando teorías ya superadas.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que tanto el significado de los términos así como el simbolismo empleado para designar e interpretar conceptos científicos dependen de la teoría científica o del marco conceptual en que son elaborados, resulta tener un gran interés didáctico auscultar las teorías que proponen profesores, libros de texto y estudiantes ya que haciendo un análisis integrado de los resultados que parcialmente se encuentran es posible evidenciar elementos de orden epistemológico, histórico, teórico y ontológico que sin duda, contribuyen a interpretar más claramente la forma como se han desarrollado los modelos de enseñanza de la teoría atómica, así como a proponer estrategias metodológicas orientadas por la investigación didáctica que podrían contribuir a llevar adelante auténticos procesos de aprendizaje de las ciencias entendidos como cambios conceptuales racionales .

En particular, no se puede perder de vista que las teorías científicas cambian a lo largo del tiempo por razones internas a la ciencia misma pero también por razones sociológicas, culturales, etc. y que por tanto la terminología y las representaciones simbólicas derivadas de las teorías también lo hacen. Esta perspectiva, permite que asumamos de forma más seria las representaciones que los estudiantes pueden manifestar ante una situación problemática particular, ya que sin duda encontraríamos allí enormes posibilidades para identificar sus concepciones de naturaleza teórica, epistemológica y ontológica derivadas de sus formas particulares de concebir un problema científico. En esta medida, podríamos orientar estrategias metodológicas que favorezcan un cambio conceptual que según la hipótesis de partida desde la cual se considere, podría por ejemplo potenciar la posibilidad que los estudiantes pudiesen construir un nuevo contexto de pensamiento (en este caso, científico), que les permita a través de una acción consciente y razonada reconocer las diferencias de concepciones sobre la naturaleza de la materia y por tanto, de representaciones entre uno y otro contexto.

Desde una perspectiva de la naturaleza constructiva del conocimiento científico apoyada con una imagen histórica no acumulativa, es impensable la idea de científicos como personas aisladas. Es el trabajo colectivo y la obtención de consensos entre la comunidad de investigadores lo que define la aceptación o no de rutas de trabajo y la decisión de difundir determinadas concepciones y teorías. En definitiva, y a manera de conclusiones generales de este proyecto, caben destacar las siguientes:

- Se logró evidenciar que los estudiantes poseen una visión de construcción de ciencia de carácter historiográfico (por acumulación de hechos).
- Se pudo concluir que para los estudiantes es de gran relevancia poseer buena memoria para el estudio y comprensión de la química, por consiguiente se dificulta el aprendizaje significativo.
- Los estudiantes tienen una imagen de construcción de conocimiento internalista, es decir que para ellos no es importante relacionar su estructura conceptual con el medio externo que los rodea.
- Una dificultad latente es la idea que tienen los estudiantes al momento de asociar el conocimiento científico y el conocimiento científico escolar suponiendo que su trabajo consiste en aprender la mayor cantidad de teorías científicas en el menor tiempo posible.
- Se pudo observar la dificultad que tienen los estudiantes para aceptar que sustancias simples o elementos pudieran constituirse como moléculas, en relación con la asociación átomo – elemento y molécula– compuesto.
- Otro obstáculo que se observó al analizar los instrumentos es la diferente postura que tienen los estudiantes sobre la visión de la naturaleza de los conceptos, ya que las concepciones alternativas y su persistencia generan confusiones para la construcción significativa del conocimiento.
- Fue notorio en los resultados observar que los estudiantes se fijan más en el estado final de una transformación química que en su estado inicial, lo cual les dificulta interpretar correctamente el concepto de conservación de la materia.



- Las representaciones realizadas por los alumnos acerca de la estructura interna de la naturaleza se centran básicamente en ideas espontáneas de sentido común relacionadas más con su ámbito cotidiano.
- Se observó una clara tendencia de los estudiantes a utilizar el modelo corpuscular elaborando enunciados y representaciones gráficas meramente descriptivas siempre teniendo como referencia los niveles macroscópicos de la materia.
- En las representaciones gráficas que realizaron los estudiantes acerca de la reacción química orgánica de obtención del acetileno, no se conserva el número, el tamaño, ni la forma de las partículas.
- En el empleo de las representaciones gráficas de los estados de la materia hay dificultad en admitir la idea de vacío y la concepción dinámica de las partículas.
- Las representaciones gráficas observadas en los alumnos con respecto a los cambios físicos y químicos se pueden agrupar en dos grandes categorías: sustancialismo y corpuscularismo de la materia.
- En el análisis de los resultados sobre las principales concepciones alternativas se pudo concluir que para los estudiantes la materia no se encuentra en continuo movimiento sino por el contrario es estática.
- Se llegó a la conclusión que muchos alumnos no conciben el cambio químico como un proceso de interacción de ruptura y formación de enlaces, sino como un proceso de separación de partículas.
- La explicación que dan los estudiantes al momento de representar gráficamente sus ideas nos hace pensar que tienden a asignar propiedades de la materia y de sus transformaciones mediante la forma, tamaño y movimiento de las partículas constituidas por materia indiferenciada e inmutable (imagen corpuscular mecanicista).
- La mayoría de los libros de texto de química generan una idea de ciencia empirista e inductivista así como ideas de un desarrollo histórico de la ciencia por acumulación lineal de teorías.
- Los libros de texto no explicitan la idea de representación simbólica y de terminología química como el resultado del consenso de las comunidades científicas apoyados en fundamentos teóricos temporalmente aceptados. Por el contrario, generan la idea que las representaciones de las características y de las propiedades de los átomos y las moléculas, y las de los símbolos y las fórmulas que representan elementos y compuestos son hechos fijos, descubiertos a partir de una realidad prefijada mediante la observación cuidadosa de unos cuantos científicos y que por tanto poseen carácter de verdad absoluta.
- Los profesores de química utilizan prioritariamente para la orientación de sus clases, los libros de texto más comunes que se encuentran en el mercado. En consecuencia, su relación con revistas especializadas y con comunidades de investigadores en ciencias y en didáctica de las ciencias es prácticamente inexistente.
- Las representaciones simbólicas que hacen los profesores en relación con la naturaleza de la materia es coherente con visiones científicas fructíferas presentadas a lo largo del

siglo XIX. Sin embargo, las implicaciones de los modelos científicos actuales no los consideran convenientemente.

- Integrando los resultados de los instrumentos aplicados tanto a estudiantes de educación media académica y de universidad en carreras de Licenciatura en Química, como a profesores de química y a textos de estos mismos niveles educativos, se puede sintetizar que las teorías atómicas que se enseñan y se aprenden favorecen imágenes tradicionales de la ciencia y de la actividad científica, no se favorece el desarrollo e implementación de estrategias de enseñanza y aprendizaje de la química mediante una orientación constructivista y por último, no hay coherencia entre las teorías atómicas que se enseñan y se aprenden frente a los tipos de representaciones simbólicas que sobre la naturaleza de la materia se hacen.

BIBLIOGRAFÍA

BUESO, A.; FURIÓ, C. y MANS, C. (1988) Interpretación de las reacciones de óxido-reducción por los estudiantes. Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 244-250.

CAAMAÑO, A.; MAYOS, C.; MAESTRE, G. y VENTURA, T. (1983) Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 198-200.

CARBONELL, F. y FURIÓ, C. (1987) Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 3-9.

DE VOS, W. y VERDONK, A. (1996) The Particulate Nature of Matter in Science Education and in Science. *Journal of Research in Science Teaching*. 33(6), 657- 664.

FURIÓ, C. (1986) Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las ciencias*, 4 (1), 73 - 77.

FURIÓ, C.; AZCONA, R., GUIASOLA, J. y MUJICA, E. (1993) Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud olvidada: la cantidad de sustancia. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 107-114.

IGLESIAS, A. et al (1990) Las interacciones entre estudiantes en el trabajo en grupos y la construcción del modelo corpuscular de la materia y el principio de conservación de la masa. *Investigación en la Escuela*, 12, 57-68.

LLORENS, J. (1988) La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*, 4, 33-48.

Llorens, J. (1991) Comenzando a Aprender Química. Ideas para el diseño curricular. Visor Distribuidores, S.A: Madrid.

MOSQUERA, C.J. (1998) Caracterización de preconcepciones y su impacto en el aprendizaje significativo de la química. Instituto de estudios e investigaciones educativas. Universidad Distrital. Bogotá.

_____ y MORA, W.M. (1998) Preconcepciones y aprendizaje significativo de la química. Programa de Formación Permanente de Profesores de Química. IDEP: Bogotá.

POZO, J.I. (1999) Mas allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520.

_____, GÓMEZ, M.A., LIMON M., y SANZ, A. (1992) Procesos Cognitivos de la Ciencia: Las Ideas de los Adolescentes sobre Química. CIDE, MEC, Colección Investigación.

_____, _____ (2000) Aprender y enseñar ciencia. Ediciones Morata S.L: Madrid.

TABER, K.S. (2000) Multiple frameworks? Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 22(4), 399-417.

VALCARCEL, M.V. (1990) Ideas de los alumnos de diferentes niveles educativos sobre el proceso de disolución. *Investigación en la Escuela*, 11, 51-6

ANEXOS

ASPECTOS INDAGADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE CONCEPCIONES DE ESTUDIANTES

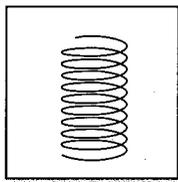
1. Si representamos los átomos de los siguientes elementos tal como lo hiciera John Dalton (1766 - 1844):

Hidrogeno	α
Carbono	Θ

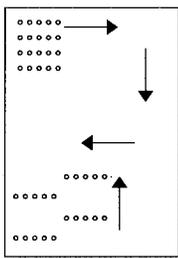
Oxigeno	β
Nitrógeno	8

Representa:

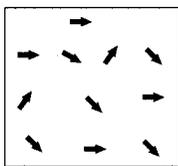
- a. Las moléculas de $H_{2(g)}$, $O_{2(g)}$, $CO_{2(g)}$, $N_{2(g)}$, $H_2O_{(g)}$, $NH_{3(g)}$.
 - b. La evaporación de 50ml de agua.
 - c. La formación de agua a partir de $H_{2(g)}$ y $O_{2(g)}$
2. Tu sabes que los gases se mueven , esto se evidencia por ejemplo cuando en una habitación se destapa un perfume y se percibe su olor en toda ella. Ahora ¿Cómo crees que se mueven los gases?
- a. Como si fueran un resorte.



- b. Todas las partículas se mueven conjuntamente pasando cada vez por un sitio de la habitación.

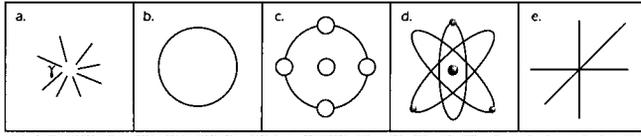


- c. Cada partícula se mueve constantemente hacia cualquier dirección.



Explica y dibuja otra alternativa posible si la tienes.

3. Dados los siguientes esquemas ¿Cuál se ajusta más al concepto que tienes de átomo? Justifica tu respuesta.



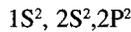
4. Tenemos una balanza equilibrada tal como se ve en la figura y en cuyos brazos encontramos dos recipientes herméticamente sellados. El recipiente A contiene gas butano, el B agua la cual se ha calentado hasta evaporarse. ¿Hacia donde crees que se inclinará dicha balanza?.

- Hacia A
- Hacia B
- Permanecerá igual
- No sé



Justifica tu respuesta mediante un dibujo.

5. El átomo de carbono es el principal elemento de los compuestos orgánicos. Su número atómico es 6 y su estructura atómica es :



esto quiere decir que tiene 4 electrones en su última capa de energía, los cuales puede compartir para adquirir una estructura electrónica similar a la de un gas noble (estabilidad). Según el anterior enunciado, ¿Cómo representarías gráficamente un átomo de carbono?

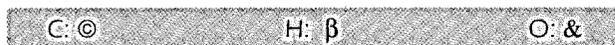
- Como representarías el interior de una gota de alcohol puro (si pudieras observarlo con un enorme aumento). Explica en pocas palabras lo que verías y elabora un dibujo en el que indiques de forma clara y sencilla tu representación.
- La molécula de benceno C_6H_6 de acuerdo con datos experimentales realizados tiene forma de silla en donde se localizan 12 átomos ubicados en el mismo plano ¿Cómo sería la mejor representación de los átomos de carbono e hidrógeno?.
- Si tenemos un cubo de azúcar (Sacarosa $C_{12}H_{22}O_{11}$) que es puesto directamente al fuego, explica con ayuda de dibujos lo que ocurre con el cubo de azúcar.
- Tenemos un aceite de cocina (girasol) el cual lo distribuimos en dos recipientes como se ve en la figura, uno de ellos está a temperatura ambiente y el otro lo exponemos a una temperatura de $40^\circ C$. Representa por medio de gráficas como se encuentran las partículas en cada uno de los recipientes.
- La fenolftaleína es una sustancia orgánica que no interviene en una reacción. La fenolftaleína se caracteriza por dar una coloración bien sea si se encuentra en contacto con sustancias ácidas o con sustancias básicas. En soluciones ácidas no dan ningún

color, en una solución básica da color rosado. Dibuja la fenolftaleína cuando está en contacto con jugo de limón (carácter ácido) y con clara de huevo (carácter básico) teniendo en cuenta las siguientes representaciones.



- Teniendo en cuenta las dos formas diferentes en que presenta el átomo de carbono (grafito y diamante). ¿Que sucedería si rayáramos un vidrio con el diamante y con el grafito? Explica a que se debe que el diamante corte el vidrio y el grafito solo deje su huella.
- ¿Cómo te imaginas lo que sucede cuando se ponen en contacto una pastilla de alkalseltzer con el agua? Representa tu respuesta mediante un dibujo.
- Tienes las siguientes opciones de figuras, enlaces, y electrones para representar los elementos más utilizados en la formación de compuestos orgánicos. Elabora con ellas la representación que consideras tienen los siguientes compuestos:
 - Benceno C_6H_6
 - Metano CH_4
 - Etanol C_2H_5OH

Símbolos



Figuras de Enlaces con opción a utilizar



Figuras de electrones con opción a utilizar



- Teniendo en cuenta la siguiente reacción y con las figuras suministradas en la pregunta anterior incluyendo la representación del calcio (Ca: #) ¿Cómo representarías dicha reacción y por qué?



ASPECTOS INDAGADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE CONCEPCIONES DE PROFESORES Y DE LIBROS DE TEXTO

Instrumento de referencia para orientar la entrevista con profesores y para la red de análisis de libros de texto.

- La materia consiste de entidades llamadas partículas. Las partículas individuales son muy pequeñas para ser visualizadas. Son duras, sólidas y (excepto en las reacciones químicas)

cas), objetos inmutables. Sus dimensiones absolutas y su forma es usualmente irrelevante. Los dibujos de estas partículas puede hacerse como pequeños círculos o como puntos.

2. El movimiento es una característica importante de todas las partículas debida a la elasticidad perfecta de las colisiones. Hay relación directa entre la temperatura de una cantidad de materia y la energía cinética promedio de las partículas.
3. En un gas el espacio vacío entre las partículas es mucho mayor que el que ocupan las propias partículas. Las partículas de un gas confinadas en un espacio cerrado están distribuidas al azar lo que implica que la gravedad no las afecta.
4. Hay una atracción mutua entre dos partículas pero esta magnitud decrece rápidamente con la distancia. En los gases la atracción es despreciable excepto a altas presiones y a bajas temperaturas lo que puede causar que el gas se condense en un líquido o en un sólido.
5. En los líquidos y los sólidos las partículas están mucho más cercanas y sometidas a atracción mutua. En los sólidos las partículas se organizan en formas regulares y cada partícula solo puede vibrar alrededor de un eje fijo. En los líquidos las partículas se organizan irregularmente y se mueven de un lugar a otro.
6. Diferentes sustancias están hechas de partículas diferentes pero todas las partículas de una misma sustancia son idénticas entre sí. En una mezcla hay partículas de dos o más especies diferentes.
7. En una reacción química las partículas involucradas consisten de una o más subentidades llamadas átomos los cuales se conservan en la reacción. Una reacción es un reordenamiento de átomos. Cada uno de los aproximadamente 100 elementos químicos tiene su propia clase de átomos.
8. Un átomo consiste de un núcleo con carga eléctrica positiva rodeado de un número de electrones cargados negativamente. Las partículas cargadas obedecen la ley de Coulomb. La formación de enlaces químicos así como la corriente eléctrica se describe en términos de movilidad de los electrones.